



TITLE:

活性汚泥法からみた水質指標の評価に関する研究(Dissertation_全文)

AUTHOR(S):

奥野, 長晴

CITATION:

奥野, 長晴. 活性汚泥法からみた水質指標の評価に関する研究. 京都大学, 1974, 工学博士

ISSUE DATE:

1974-11-25

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.r2647>

RIGHT:

活性汚泥法からみた水質
指標の評価に関する研究

昭和49年4月

奥野長晴

活性汚泥法からみた水質 指標の評価に関する研究

昭和49年4月

奥野長晴

目 次

第 1 章	序 論	1
第 2 章	下水処理場流出入水量水質の分布形と代表値の検討	21
第 3 章	下水処理場流出入水量水質の変動特性の解析	45
第 4 章	線形モデルによる水質指標の特性の解析	115
第 5 章	エアレーション時間の変化に伴う水質ベクトルの特性の解析...	147
第 6 章	だ円体主軸の回転による水質指標の分類	175
第 7 章	結 論	193
	あ と が き	203
	謝 辞	205

第 1 章 序 論

1. 本研究の目的	2
2. 本研究の基本方針	3
3. 本研究の概要	7
4. 参考文献	19

1 目 的

今後数年間に、多額の投資が下水道施設の整備になされようとしているが、この投資が有効に作用するかどうかは既存の諸施設の機能が正しく評価されるかどうかにかかっている。これがわかると、現在のシステムのネックを改善するための具体的な対策が明確になるのみならず、計画諸手法を駆使して、投資を有効に生かすための方策の実行が可能になる。活性汚泥法は、現在はいうまでもなく、今後とも、下水道施設の中心的位置を占められるので、本法の機能を徹底的に解明することがこの分野の第一義的な重要事項である。

ところで、この「機能」は目で見えるわけでも、手で触れられるものではないから、何らかのパラメーターを介してそれをモデル化あるいは定量化することが、この機能を理解しえる唯一の方法である。しかし以上のことは「いかに優れていても、パラメーターに反映する機能でなければ実用上何の意味もない」と短絡すること、また、「パラメーターに変化がないから機能を変えてもさしつかえない」と主張することも正しくない。より低次の機能が定量化されないうちはより高次の機能に対する要求がないために、低い要求が最終的な目標と思われ勝ちである。したがって、未知の機能をも追求できるようなパラメーターを開発することが、活性汚泥法を正しく評価する上で、今とくに必要であると考えられる。

本論文は活性汚泥法という場の変化を表現する新しい指標を作製し、それをもとにして、活性汚泥法の機能を別の立場から再評価することを目的としたものである。

2 基本方針

活性汚泥法のプラントの運転に従事すると、活性汚泥は術（ART）なのかあるいは科学（SCIENCE）なのかという疑問を抱かざるをえない場合が多いのである。術か科学かいずれかの選択は、プロセスの解明あるいは水質指標の検討という命題に重要な意味をもっている。

従来の活性汚泥の研究のほとんどすべてはこれは“科学”であるという立場に立っていた。従来の“解明”という概念は事象または現象をくまなく分析しつくせばどんなことでもわかるという思想にもとづいている。プロセスをうまく従来の科学的手法で記述できないのは未知の因子が存在するからであって、分析化学的に深く追求すれば、誤差をかきわけて、どこまでも真実に近づくことができると考えていたのである。理論の作製と実験とのあくことなき繰り返しを続けてきたのがこの何よりの証拠である。變ねていえば、「一見複雑に見える現象でも多くの要素に分析して眺めるとにわかに理解される」が分析的手法を用いる場合の基本的な考え方である。

このようにしてその系を決定する科学原理を習得すれば、その原理を適応することにより、活性汚泥法の設計や管理に必要な一切の情報の収集が完了したといってよい。活性汚泥の馴致をDNAやRNAなど核酸のレベルで解明しようとする試みはこの線に沿うものである。

このように分析化学的に細分化することによって、活性汚泥法のある面はいちじるしく深く理解されるようになったのは疑いもない事実である。しかしながら、他方ではほとんど理解されないまま放置されている初歩的なことも多い。よくわかっているのは分析化学的な思考法によってわりあい簡単に理解できることについてであり、総合的な認識を必要とするようなものには手つかずのことが多い。たとえば、処理した水の透明度について一体どれだ

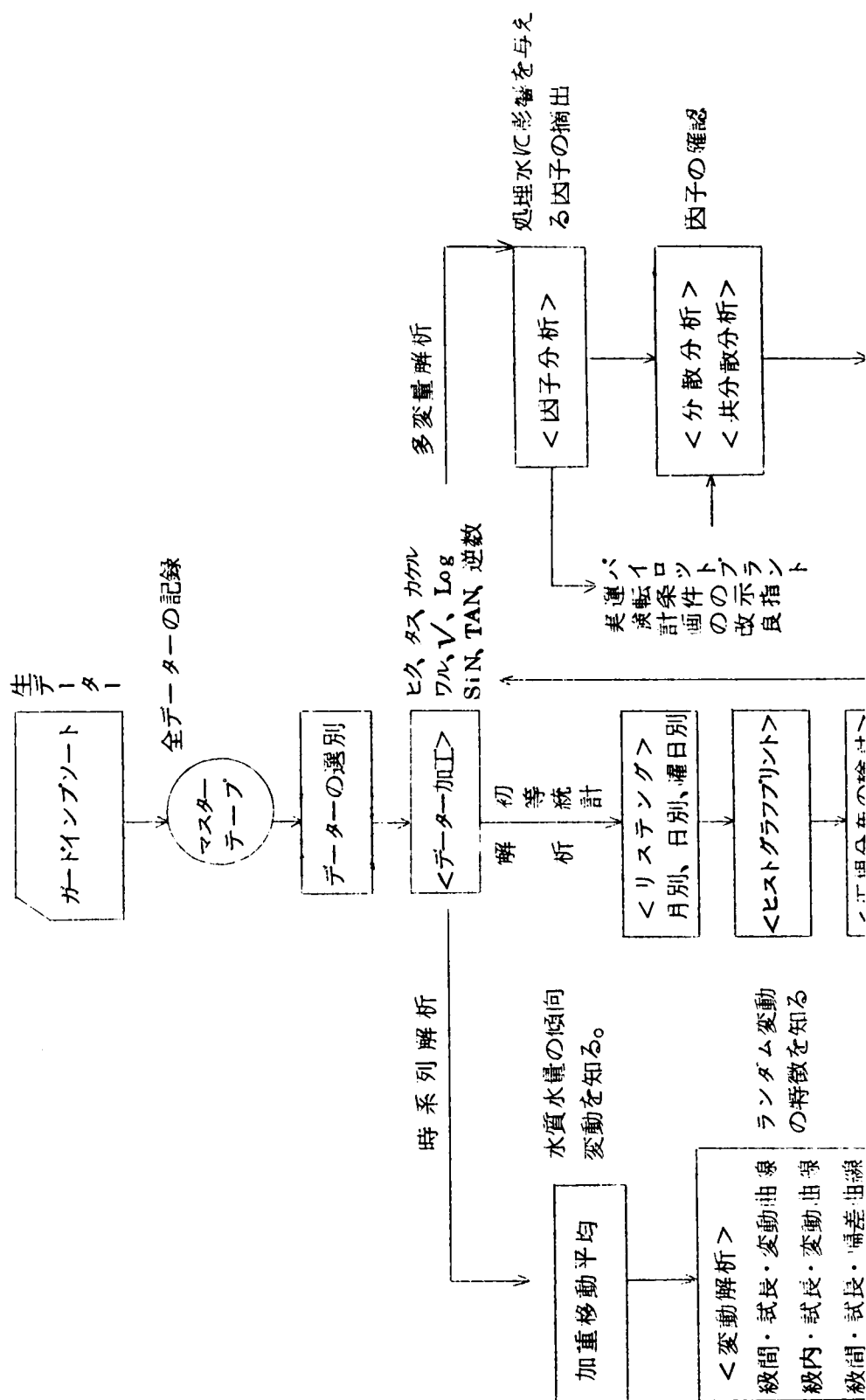
けのことを知っているかはなはだ心細い。温度がどのくらいのとき、どのような水に対して、酸素の濃度をいくらにすると、どのくらいの透視度になるかを予想したり記述したりできる理論はまだない。また処理条件をかえたときに水質相互間の関係がどう変わるかも未知である。異質の有機物に対する微生物の適応が核酸のレベルで解明されるという現実の一方では、見た目の清浄さについて**従**れも正確なことは知らない。きわめて広範囲の諸因子の総合的な効果として生じるパラメーターを長時間にわたって予見することについて従来**の**分析化学的方法論は無力であったといえる。

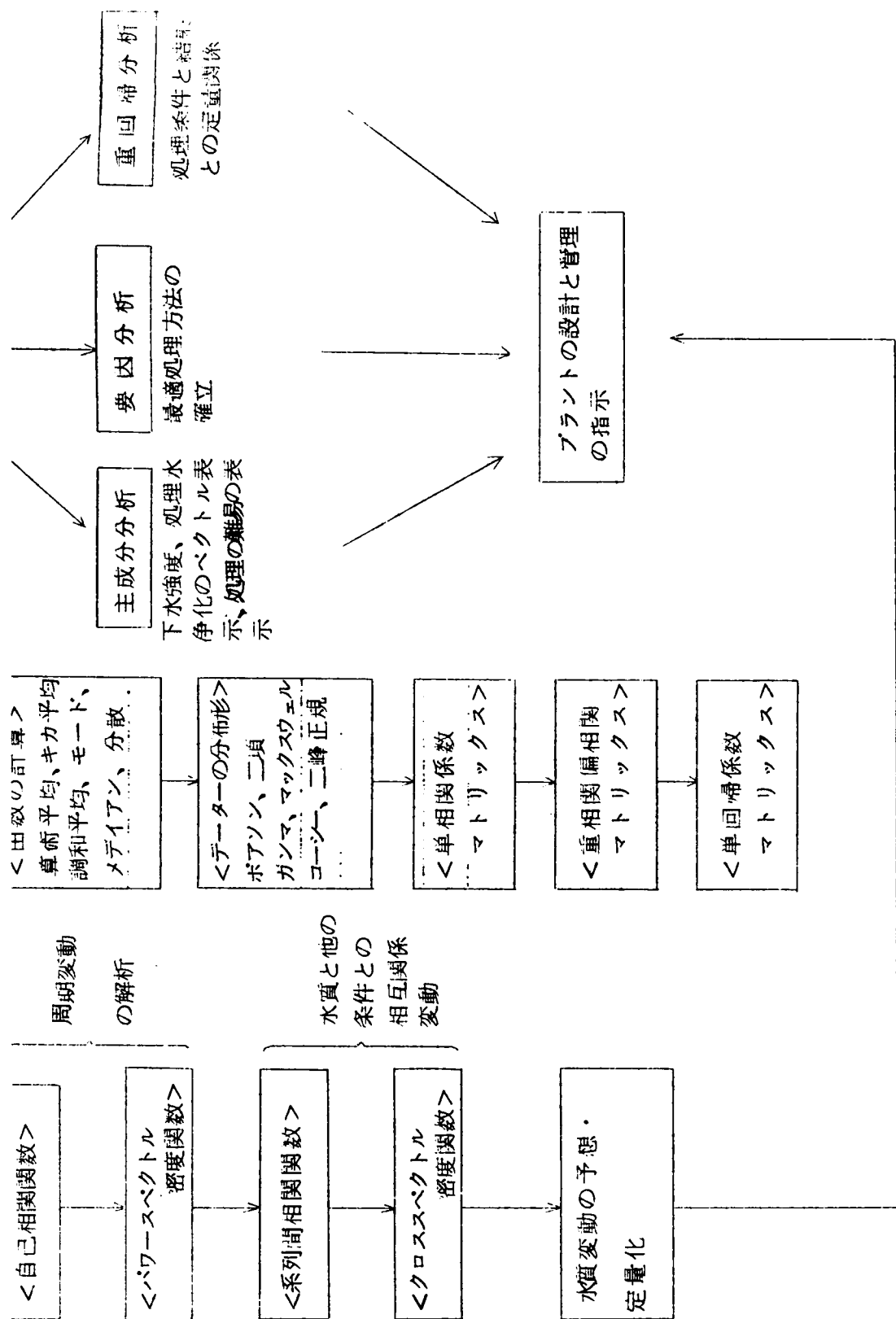
一方また、現実の活性汚泥法の運転管理は完全に術(ART)であるといわなければなるまい。返送汚泥の色や臭、流入下水の外観など人間の感覚が重要な操作因子になっているからである。エアレーションタンクへの流量やDOなどの計測値にもとずき、返送汚泥量と空気量が電子計算機によって自動コントロールされるようになっているけれども、ほとんど利用されていない下水処理場もある。それよりも、ベテラン運転員の感覚に頼る方がはるかにうまくプラントのコントロールがなされている。

けっきょく、活性汚泥法は術なのか科学なのかに対する答えは“術”の方に傾かざるをえないのが現状である。超精密分析によって活性汚泥法のある部分の微妙な機構が明らかになったとしても、カンの要素の部分が律速になって、プロセス全体は何もわかっていないということにもなりかねない。

以上のように、科学原理の習得だけではプロセスの解明はもとより運転さえ完全に行えるものではない。しかしながら、カンや直感そのままでは活性汚泥法を変革したり、進歩させたり、あるいは実用化するための情報の収集と期待できない。やはり活性汚泥法を科学化しなければならない。注意を要するのは活性汚泥法の科学化とそれに用いられる諸科学とは別物であるとい

表 1-1 解析手法の一覧表





う点である。生物学や物理学が提供する科学知識を利用することだけでは決してこの目的を達することができない。従来の概念と異なった科学的方法論を必要とする。これはこれまでのように厳密な再現性を求めたり、決定論的解答を期待できるようなマクロからミクロへという分析的思考ではなく、局所的厳密性のある程度捨て、大域的にある程度正しいという理解のできる方法論を必要とする。この要求にもっとも近いのが疫学であると考えられる。これが本論文に統計ないしは推計を全面的に取り入れた理由になっている。

従来の分析科学的手法によるアプローチが難しいのは独立変数の数が多くかつ非線形で従属変数に関与するからであるといえる。同時に、活性汚泥法はまた連続的に廃水の流入を受けているから、高次のマルコフ過程も含んでいる。したがって、非線形性と時系列連続性とを同時に満すような方法で水質指標を再評価することが本論文の基本方針である。

本研究のために必要なデータ処理や数値計算はIBMとFACOMの電算機を利用した。表(1-1)は解析手法の一覧表である。

3 内 容

(1) 第2章の概要

下水処理場のパフォーマンスに影響を与える要因である、流入下水流量、水温、有機物濃度などは変動しているので、これを定量化するために、どの処理場でも例外なく、算術平均を計算していた。真の値はたった一つしか存在しないという立場に立つと、多くの値を平均値という数値に変換することを求めるのである。

水量や水質を分析する目的は処理施設の機能の評価である。この評価の利用は二つある。その第一は、データを蓄積し、来るべき将来の施設の設

計や管理の方針をきめたり、公共水汚濁防止の基礎資料に用いることなどである。第二は下水処理施設のパフォーマンスの監視である。たとえば、水質分析値に異常値があらわれると、所定の浄化が達成されるように適当な処置を講じたり、運転操作を変更するというのがこれである。前者が長期の展望への評価とすれば、後者は短期の目前の評価といえる。

いずれの場合でもこのような目的達成のためには、情報量の多い方が望ましい。平均値とは質点系における一次モーメントの中心を表わす仮空のパラメーターであるから、それ以上の数値も、それ以下の数値も数多く存在する。平均値を計算することは豊富な情報を投げ捨てていたことにもなりかねない。情報量を保持しながら、ランダム変動を再現性のある値への変換する最初の試みは個々の測定値の分布形を作ることである。この分布形を一般化したものがいわゆる確率分布形と呼ばれ、変動解析の古典的位置をしめてきた。

「確率降雨、確率洪水」などの言葉からわかるように、土木工学の水を取り扱う分野の中では、河川治水工学に関する諸現象を記述するための確率的解析が今世紀の始め頃から開始され、1940年代からこの手法が実用面に応用されるようになってきた。多くの国において、治水が政府の重要政策に、早い時代から、なってきたことにもよるが、一度事故が起ればその被害に巨大なものがあるにもかかわらず、不確定要素がありすぎる河川事業においては、適応的に合理的な思考方法をとらざるをえなかったことが、こんな早い時代に確率的手法を可能にしたものと思われる。限りある予算で最大の効果を期待するORもこのような素地の上に発展してきたと考えられる。

このような解析が汚濁河川水の梗概に導入されるのは1960年まで待

たなければならなかった。すなわち、サンプリング時間を実験計画法にもとづいて決定し、えたデータから母集団確率分布のモデルを推定する。そのモデルから、非超過の確率汚濁度を決定するという方法を著者がはじめて淀川に適用した。¹⁾ この試みは南部ら²⁾³⁾ によって発展され、各河川の水質基準を決定するための具体的な手段として定着した。

以上を要約すると、「不確定要素が数多くあり、一見ランダムにみえる変動をもつ現象に対しては、過去の経験をもとにして、この変動を確率的に一般化し、その期待値が最大になるようにシステムをモデル化する」ということができよう。これが変動を確率分布形によって再現性のある値に変換したことからえられる第一の利益である。第二の利点は、確率分布形はその集団の特性を解明する手がかりを与えることにある。たとえば、確率密度がガウス分布のそれから大巾にずれている場合、個々の値の発生に何か特殊な理由の存在を疑わせる。この特殊性の追求がつぎの課題になる。

下水処理場の流出入水量水質の分布形の検討を本論文のスタートにおいたのは以上のような理由にもとづいている。

(2) 第3章の概要

水量水質の平均値だけではなく、変動の大きさを、分散というパラメーターに変換して、下水処理場の計画を積極的に組込む方法が1965年にあらわれた。末石は変動の巾が小さくなるように工場排水の受けいれ方をシステム全体のコストとの関連において検討している。⁴⁾ これは排水処理システム計画上はじめの試みである。

しかしながら、下水処理場はピストン流として流入してくる下水を刻々処理してゆかなければならないから、平均値を中心にした変動の巾や、全

この分布形だけでは、計画に必要な情報が十分集まったとはいえない。

たとえば、同一平均値で同一分散の負荷を受ける場合でも、その変動の周期が異れば、下水処理場の受ける影響は異なってくる。平均値と全体の変動との両者の推定の精度を上げるために、標本の数を多くすればするほど、局所的な変動の状態がわからなくなってくる。このように局部と全体とは不確定性原理に似た関係にあるわけである。この問題を解決するには時間経過と変動とを同時に扱う解析、すなわち確率過程的なアプローチが必要である。このような方法の初歩的な試行を奥野¹⁾が淀川の水質変動を定量化するために適用している。

その後1969年に、山田⁵⁾らは全体と局部とを同時に示すパラメーターとして、級間変動曲線を用いて、下水処理場流入水量水質^{の変動}を定量化する方法を提示した。これによって下水処理施設内の水量水質の時間的な挙動がわかり、ひいてはそれに対応する設計の方法を確立することが可能になる。排水システムのダイナミックな計画への道を開いたという意味で、山田らの研究は高く評価される。東京都のある下水処理場のイコリーゼーションタンクはこの手法にもとづいて設計されている。

以上はランダム変動（すなわちいかなる時間においても一定長さの時間内に測定した数値の平均値は一定という変動）の場合のみに適用できる解析手法である。もしその変動が一定の傾向、（たとえば直流成分や規則成分を含む場合など）、をもっている場合には級間変動の解析の前にそれらを除くしなければならない。このような場合、その直流成分や規則的成分により多くの関心が湧く。

太陽黒点数の変化や、気候の変化など、自然現象を解析するために、時系列変動の規則性を検出するための技術はずいぶん以前から実用化されて

いた。フーリエ解析やヘリョドグラム解析と呼ばれるものがそれである。しかしながら、いずれも龐大な計算が伴うので、水質指標解析のチェーンワークに組入れることはほとんどなかった。

河川の水質の変動の解析へのこのような方法の最初の応用例は Thomann⁶⁾ によるデラウエアー川における溶存酸素濃度の変化の定量化である。このようにして、「デラウエアー川の感潮部における溶存酸素濃度の変動には一年周期と一日周期との両成分が顕著であった。この両者を除去したのちの残差変動は正規分布をなし、時系列的にはホワイトノイズである。この2種類の周期変動は温度と照度とに関係するであろう。」と結論が下されている。変動の大きさを周波数をパラメーターとして記述した点が Thomann の方法の意義の深い部分である。

日本においては、田井⁷⁾ が下水処理場への流入水量水質の24時間変動を調和解析により、三角関数の一次結合で表わす試みをしている。1年間を通じて2時間間隔で測定したデータから平均日変化を計算し、それを6項の \cos と \sin の和で表わそうとしたのである。せっかく1年間もの長期間のデータを収集しておきながら、平均日変化に変換してしまったので、1日周期よりももっと長い周期の変動の解析ができなくなっているのが惜まれる。

高速計算機を手軽に利用できなかった当時としては、やむをえなかったのであろう。田井はまた、6項の三角関数で全体の変動をどれぐらいの精度で記述できるかを検討していない。2時間間隔24時間分のデータの変動は12項の三角関数で完全に記述できることは原理的に明らかであるから、三角関数の各項（換言すると周波数）の全体の変動に対する寄与率をきめる方法を確認することが今後の発展の方向であると考えられる。

先にあげた Tuomann の例でいえば溶存酸素濃度の変動の原因は温度と日照であろうと推定するにとどめたが、この両者がどのくらいの程度で、どのくらいの時差をもって、DO に影響を与えるかという定量化に発展してゆかなければならない。

以上はある波形の入力 $x(t)$ が加わったとき、いかなる波形の出力 $y(t)$ がえられるかという問題に相当する。これに対する最初の解法は $x(t)$ と $y(t)$ との t に関する平均値についての線形の対応を検討すること、すなわち相関分析法である。この場合のモデルは式 (1-1) になる。

$$y(t) = \alpha x(t) \cdots \cdots \cdots 1-1$$

さらにこれが発展すると時間まで含めた解析法が適用されるようになってゆく。

$$y(t) = \alpha x(t + \tau) \cdots \cdots \cdots 1-2$$

式 (1-2) からわかるように、このモデルでは時差 (τ) という概念が導かれている。これはいわゆる系列相関分析法といわれるものである。式 (1-2) は t 時におけるインプットが τ 時間遅れてアウトプットに伝達されることを現わしているので、式 (1-1) よりもダイナミックなモデルであるといえよう。この場合インプットがアウトプットに伝達される程度は係数 α で示されているが、両者間にはやはり線形関係にあることを前提にしている。

最近になって式 (1-3) のような非線形なモデルが紹介された⁸⁾。

$$y(t) = \alpha \left[x(t) + \frac{dx(t)}{dt} \cdot \Delta t \right] \cdots \cdots \cdots 1-3$$

$dx(t)/dt$ 項を導入することによって、微小時間内の変化、つまり非定常状態にも対応できる形になっているところが式 (1-3) のユニークなところである。この式を導いた原著者はラプラス変換によって解を求めるこ

とを提案している。しかしながら、 $x(t)$ が複雑な関数である場合あるいは、関数関係で表現できない場合、式(1-3)を解くことは困難である。そしてまた、 α を理論的に導くことはまだ達成されていない。

$$y(f) = A(f) \cdot x(f) \dots\dots\dots 1-4$$

著者は式(1-4)がもつとも実用的なモデルであると考えているにいたった。

式(1-4)において、 $y(f)$, $A(f)$, $x(f)$ はそれぞれ、アウトプット、周波数伝達関数、インプットのフーリエ変換である。インプットとアウトプットの波形は見掛上相違していても、(すなわち非線形)、両者とも各周波数に細分し、各周波数伝達関数を媒介として対応させようとするのが式(1-4)のもつ意味である。インプットとアウトプットとの数多くの測定値にもとづいて上述のような操作をすると、その測定値の特性から離れて、一般的な周波数伝達関数の数値解を統計的に求めることができる。これには膨大な計算が伴うので、大形電子計算機の利用が必須の条件である。第3章で詳述するが、たとえば第一沈殿池の流入CODと流出CODの対応関係を明らかにする目的において、原変動を約4,000種類の周期をもつ周波数成分に分解し、それぞれの成分の振幅の分散によって、それぞれの成分の全体に対する寄与率を比較するという操作をした。

第3章はこのような方法により、流出入水質の相互関係を、エアレーションタンクや沈殿池について検討したものである。

(3) 第4章の概要

第3章においては、時系列的に変動する2つの系列の対応のし方を検討してきた。第4章は多変量間の応答を検討する。

処理水の水質の変動とその原因との定量関係をあらわすモデルが数式の

形で求められると、水質指標とプラントの運転条件との関連の定量化という基本問題の解明のみならず、プラントの設計や管理という実務にも役立つところがきわめて大きい。そのような有用性のため過去十数年間に、世界の多くの部分で、このような試みが急激にふえてきた。その結果活性汚泥法による有機物除去の機構を表わす動力学モデルは数多く発表された。それらはすでにレビュー⁹⁾¹⁰⁾されているのでここでは個々の評価を再びくり返ささない。モデルの数は多いけれどもそれらの根源は Michaelis-Menten の一相モデル、Garrett, Dawyer, Eckenfelder らの 2 相モデルに帰着する。いずれのモデルも微分係数を含む半理論式の形態をとっているので、必然的に理論(仮説)を作ることの困難さと、数値解をえることの困難さのために、モデルに含まれる独立変数の数を 1 個から多くてせいぜい 2 個に限定せざるをえなかった。

モデルが含む定数を決定するための実験でも系をできるだけ単純にしていた。原水の変動を避けるために、合成下水を用いたり、空気量や温度の変動を除くために、精密な小型実験プラントを用いるというのがその実例である。このようにして作り上げたモデルは限定された条件の下にあるかぎり単純な基質の除去の現象をうまく記述するので、前述のように数多く発表され、その結果モデル自体は完璧な形をととのえるにいたった観がある。しかるに、下水処理水の水質に影響を与える変数の数が 1 個や 2 個ということはありえず、また現実の下水処理施設は限られた数の作業員によって運転されているので、返送汚泥濃度や、空気量などをきめ細く調節することは困難であり、さらに原水の水質を均一化することははじめからできない相談である。このように理論式が導かれた実験室とはおよそ条件の違う現場の現象を従来 of 理論式で記述することに無理があった。完全にコ

ントロールされた系でしか検出されないような事実は実用上事実と考えるわけにはゆかないのである。

このように現実の処理水の水質の変動には不明な部分が多くあり、これらは従来のモデルでは完全に予想でき難いのである。このことは建物の構造の設計において、構造力学は完成の域にも達しているにもかかわらず、風力や地震力などがはっきり解明されていないのと、建築材料のもつ特性のバラツキのため、必ずしも経済的に満足されるべき建築物の設計がなされ難いことに類似している。活性汚泥プロセスの従来の動力学モデルは0次反応と1次反応^との組合せで成立しているが、現実のプラントのパフォーマンスを微妙な曲線で表わそうと試みても実質的な意味はほとんどないといってよい。宗宮⁹⁾の結果はこの事実をあますところなく示している。また、カイネティクスが不明である従属変数^を(たとえば透視度を)あらわすモデルを従来の方法では作ることができなかった。けっきょく、下水処理水の水質の挙動を示すモデルは水質変動の未知の部を確率化した上で確率的に導かなければならぬ。第4章において著者が線形モデルを作製したのは以上のような事情にもとづいている。このことは実物大プラントを現実の条件の下で運転する間に集めた数多くのデータにもとづいて、処理条件と処理結果である水質との因果関係を統計的に結びつける数式を導かざるをえないことを意味する。

(4) 第5章の概要

下水処理施設の建設コストはその中心部になる活性汚泥法のエアレーションタンクの体積、すなわち曝気時間に密接な関係にあるので、過去10数年にわたり、同一の処理効率を保ちながら、いかにして曝気時間を短縮

るかに多くの関心がよせられてきた。その結果歐洲式ハイレート法やステップエアレーション法などの変法が実用化されるにいたったのである。中でも、ステップエアレーション法は曝気時間を従来の標準法のその1/3以下にしても処理水質が悪化しないというニューヨーク市の初期の実績が大きくアピールし、米国や日本の諸都市に広く用いられるにいたった。ステップエアレーション法の経済性は酸欠不足に悩まされず、反応にあずかる微生物量の増加ができるので反応時間を短縮できるという原理にもとづいている。換言すると、混合液浮遊物濃度とエアレーション時間との互換性の成立を認めているところにこの経済性が立脚している。

しかしながら曝気時間を短縮すると、プラントのパフォーマンスに安定性を欠くことは常に経典するところである。BOD除去率やあるいは平均処理水BOD濃度などでプロセスの能力の判定してきたところに問題があるわけである。

第5章で作成した「コントラビリテイ」や「だ円体の体積」などの新しい概念はこのような問題を解決するために利用できるものである。

(5) 第6章の概要

活性汚泥法による都市廃水の浄化の程度をあらわす目的として、BOD、COD、浮遊物、蛋白質などを検出するために数多くの水質試験が実用化され、それら試験結果を記録するようになっている下水処理場が多い。このように数多くの項目の試験をしておきながら、各々の値を問題にする場合がほとんどで、全体を総合することはあまりなかった。水質を、常に、スカラーとして扱い、ベクトルとは考えなかったのである。スカラーとして、水質はそれぞれ個有の意義をもっている。

A B S は発泡の程度を、B O D は溶存酸素の低下の程度を、大腸菌は生物の排泄物による汚染の程度をそれぞれあらわすというのがその例である。

下水処理場放流水、雨水越流水、あるいは河川水などを制御するためには、指標が必要である。この指標は制御されるべき汚濁の程度を直接表現するものが好ましいことはいうまでもない。もし、これの計測に手間と時間がかかる場合、計測しやすい別の指標を用いることが試みられてきた。末石¹¹⁾の定義に従えば前者が監視因子、後者が計測因子と呼ばれるものである。両者間に密接な関係のあることが必須の条件であることはいうまでもない。逆にいうと、監視因子に高いピアソンの偏差積率相関係数をもっている因子が計測因子であるための十分条件と考えられてきた。B O D を C O D やあるいはアルカリ度で表わすなどがこの代表的な例である。しかしながら B O D と C O D、および B O D と透視度との相関が下水道施設の運転条件によって大きく変化することがしばしば下水処理場で経験されてきた。監視因子と計測因子とを一対一に対応させる従来の方法に改良の余地のあることを示している。ピアソンの偏差積率相関係数とは元来同一の母集団に属する2つの変量の対応の仕方、すなわち多変量分布のうちの2つの周辺分布の相互関係を表す尺度である。さらにいいかえると、確率ベクトルの多次元空間における確率分布を直交する二つの一次元部分空間に投影したものの相互関係をあらわしている。このような部分空間への写影をやめ、多次元空間における分布を直接検討した方が監視因子および計測因子という問題に興味ある解答の糸口を与える。

ユークリッド空間内に分布する点は位置ベクトルで定義されるので、水質指標の測定回数に対応するだけの位置ベクトルが存在する。これらが確率法則に従って分布するとすれば、その一定数が分布する部分空間を確率

的に求めることができる。フントの運動条件したがって処理の結果生じた水質の特性によって、この部分空間の位置と形が変わってくるわけである。もし水質相互に何の関係もなければ、部分空間は球形になる。部分空間が細長い長楕円体になればなるほど、水質指標相互の依存関係が強いことになる。もし楕円体の主軸以下すべての軸が第一軸に対して無視できるほど短いとき、高次元空間に分布するはずの点群は実は一次元空間に分布していることになる。BODとかSSとかいろいろ水質試験項目はあるけれども結局はある一つの特徴を立場を変えて眺めているにすぎない。

水質をベクトルとして扱い、上述のような解析をしておくと、各水質試験の意義が明確になり、計測因子の選択の基準ができたことになる。

明らかに意識しながら水質をベクトルとする概念は今までなかったが、無意識のうちにこれを同様の取り扱いが存在していた。日本下水道協会や杉戸¹²⁾による下水の強度式がそれである。多項目の変量は高次元ベクトル量であるが、杉戸や下水道協会の方法は取り扱いのめんどうな高次元ベクトルをスカラーに変換する試みに相当するからである。これらの強度式の欠点は右辺の独立変数にかかる係数の意義が必ずしも理論的でないことにある。ベクトルで水質を表わそうとする試みは高く評価されるべきである。東京都下水道局は工場廃水処理料金の計算式を作製¹³⁾した。生物処理の困難な廃水ほど多額の料金が徴収できるように、多項目の水質試験の結果に係数を乗じるようになっている。水質という多次元ベクトルを料金というスカラーに変換することを試みた例である。

(6) 第7章の概要

最終章は1章から6章までの結果を総括し、それが工学的にどのような意義があり、どのように利用されるかを述べたものである。

4 参 考 文 献

- 1) 奥 野 長 晴 “淀川の汚濁とその規制に関する研究”、京都大学
修士論文、1960.
- 2) 佐 藤 尚 徳 “水質の調査と解析”水道協会誌、No.331, 4月
1962. から引用
- 3) 佐 藤 尚 徳 “水質の調査”水道協会誌、No. 329, 2月、
1962. から引用
- 4) 末 石、中 西、山 田、油 利、 “工場排水の共同処理計画につい
て”、第4回下水道協会研究発表会
- 5) 末 石、山 田 “排水の集水過程における水量水質変動について”、
下水道協会誌、Vol. 6, No. 60, May, 1969
- 6) R. V. Thomann, “Time Series Analysis of Water Quality
Data” ASCE, SA1, Feb., 1967.
- 7) 田 井 慎 吾 “下水処理場流入下水量、水質変化の調和解析”、
用水と廃水、Vol 7, No. 4, 4月、1963.
- 8) 住 友 恒 “都市における上水需要の変動特性について”、土
木学会論文集、182号、8月、1971.
- 9) 宗 宮 功 “活性汚泥法の操作因子に関する基礎研究”京都大
学学位論文、Mar. 1968.
- 10) 橋 本 奨 “活性汚泥法の浄化反応理論とその応用に関する研
究”、大阪大学学位論文、1971.
- 11) 末 石 富太郎 “下水道系統における水量水質監視の試案”公害と
対策 Vol. 15, No. 3, Mar., 1959.
- 12) 杉 戸 清 “下水道”皮報堂

- 13) 小 沼 達 夫 “浮間処理場における工場排水の活性汚泥処理とその問題点”、下水道協会誌, Vol. 5, No. 54, NoV., 1968.

第2章 流出入水量水質の分布形とその代表値の検討

1. 概 論	22
2. 水質指標の分布	24
3. 変数変換による分布形の変化	28
4. 考察と総括	33
5. 参考文献	36
6. アペンデックス	36

1 概 論

流入下水量やBODなど数多くの項目の測定がルチンワークになっている下水処理場の数は多い。これらの測定値から必ずといってよいほど算術平均を計算している。また多くの水質基準にも算術平均を採用している。現実には存在せず計算上にのみ存在するいわば仮空ともいべき算術平均をこれほど重要視することの意義はどこにあるのであろうか。

算術平均を計算することの意義の一つは“算術平均は真の値の推定値である”と考えることにもとづいている。すなわち「真の値はたった一つ存在するにもかかわらず、サンプリング誤差のために測定値はばらついている。したがって誤差を除去し真の値を正しく、推定するために算術平均を計算する」というのが第一の立場である。

第二の立場は再現性の少ないランダムな数多くの数値を変換し、再現性のあるひとつの数を求めるところにある。すなわち個々のデータの変動を認めた上でそれを統括するための代表値をきめることを意図している。たとえば、将来の施設の設計や管理の方針を決定したり、公共水汚濁防止の対策を立てるために、既設処理場のパフォーマンスを参照したとしても、一年間分だけでも365個の測定値が記録されているから、どれを採用するか判断できない。このままでは生データ個々の数値が異なり数も多いので定量化が困難である。したがって対象としている集団を統括するための一つの数値を決定することができればきわめて便利である。このような目的のために算術平均を用いるのは算術平均は質点系のモーメントの中心になるという原理にもとづいていると思われるが、この原理はいかなる場合でも算術平均が最上の代表値たることを保証するものではない。「モーメントの中心」は集団の特徴を偏的に表わすわけではなく、その集団を利用する目的にいかなる場合でも合致

するとは限らないからである。ここに集団の特徴をあらわすパラメーター

- ・ — 分布形 — の意義の重要性が理解されるのである。

先にのべた第一の場合でも分布形は重要な意味をもっている。この場合、わずかに数個の水質試験の結果をもとにして、処理水全体の良否を判定することになるが、測定された数値はあくまでも標本でしかない。標本の特性値がいかに正確に計算されても、それらは今必要な全体の特性値とは原理的に違うものである。したがって、少数の標本から母集団に関する情報を推定することがつぎの課題になる。一連の測定値のうちから最大値と最小値を除去したのこりの測定値を平均することによって母平均の推定値とすることが現実に行われている。こうすることが全体にもとづいて計算される算術平均値よりも母平均の優れた推定値になることが経験的にわかっていたからである。

両端の拡がったコーシー分布をする集団に対してはこのような方法は理論的に正しい。それが直感的に実行されていたのである。したがってもし分布の形について何らかの情報が得られれば、それを利用して母集団の平均値の推定の精度をあげることが可能になる。統計的手法を適用する以前の問題として測定値の分布形の検討はこのように大きい意義を有しているにもかかわらず、従来あまり関心が向けられていなかった。

したがって本章では、東京都内の現実の下水処理場において一年間実測された。COD、透視度、水温、受水量などの測定値の分布形を、歪度、尖度、コルモゴロフ・スミルノックの適合度の3者にもとづいて検討した。ついで正規分布への変換の方法、および代表値の選択についての若干の考察を加えて本論文の目的を展開してゆく手がかりとしたい。

2. 水質指標の分布

東京都内のある下水処理場において、毎日一回ずつ、一年にわたって次の各項目の測定をした：気温、水温、原水透視度、原水COD、沈殿水COD、処理水COD、処理水透視度、SV、塩化物；各々の測定値をまとめてアベックに示した。この測定値をもとにして、平均値、分散、標準偏差、モード、メディアン、積率、歪度、尖度など初等統計量を計算し結果だけを表(2-1)にまとめて示した。

またいくつかの水質指標の度数分布をヒストグラムにして図(2-1)から図(2-8)に示した。

表(2-1)中の G_1 と G_2' はそれぞれ歪と尖をあらわす量である。それぞれはつぎのように定義される。

$$G_1 = \mu_3 / \sigma^3 \quad \dots\dots\dots 2-1$$

$$G_2' = (\mu_4 - 3\mu_2^2) / \sigma^4 \quad \dots\dots\dots 2-2$$

μ_3 : 平均値のまわりの三次の積率

μ_2 : " 二次 "

σ : 標準偏差

たとえば
$$\mu_k = \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^k$$

G_1 は、分布形が左右対象のとき、0の値をとり、偏差が左に大きいとき(ピークが右側にかたっているとき)＋の値をとる。

G_2' は正規分布よりも尖っているとき－の値を、フラットのとき＋の値をとる。

表(2-1)の最下段にスミルノフコルモゴロフの検定にもとずき、それぞれ水質指標の分布が正規分布とどのくらいの確率で等しいかを示した。

表 2 - 1 水質指標の初等統計量

	気 温	水 温	原水透視 度	沈殿水透 視 度	処理水透 視 度	原 水 C O D	沈 殿 水 C C D	処 理 水 C O D	S V	原水塩化 物
平 均	17.5	16.7	7.2	6.6	22.1	48.9	50	21.	10.6	153
分 散	51.2	130	250	1.71	220	312	208	694	21.1	2910
標準偏差	71.6	360	158	1.31	148	17.7	142	833	55.8	539
モ ー ド	21.3	21.3	7.0	7.0	12.5	52.5	42.5	21.3	8.8	157.5
メディアン	19.	17.	7.0	7.0	16.0	47.0	47.0	18.6	9.5	150.
G_1	- 0.373	- 0.286	-- 0.503	- 0.12	1.81	1.49	0.541	0.896	1.39	2.70
G_2'	- 0.793	- 0.994	1.03	0.255	3.56	54.6	-- 0.197	0.697	210	223
正規分布であることの確率	0.02	0.00	0.00	0.001	0.00	0.018	0.001	0.001	0.00	0.007

图 2-1 气温

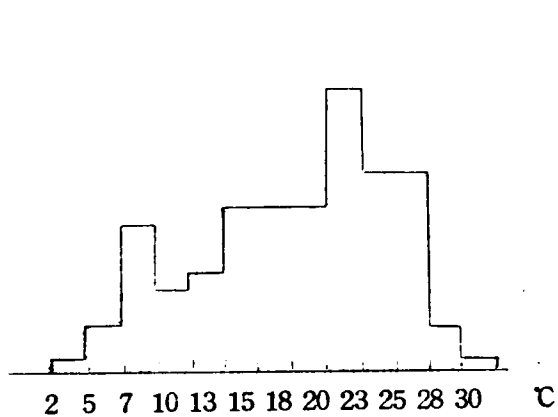


图 2-2 水温

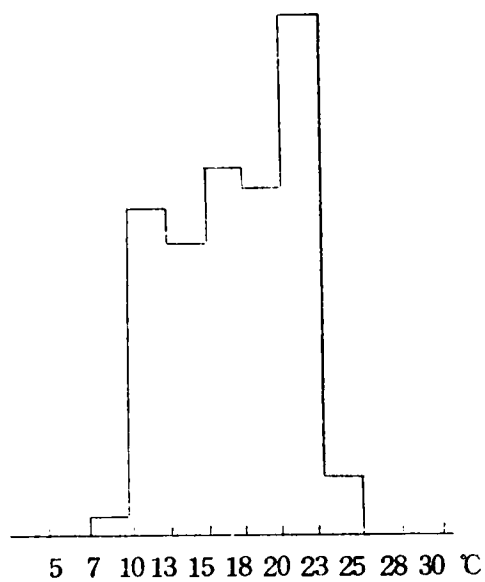


图 2-3 原水透視度

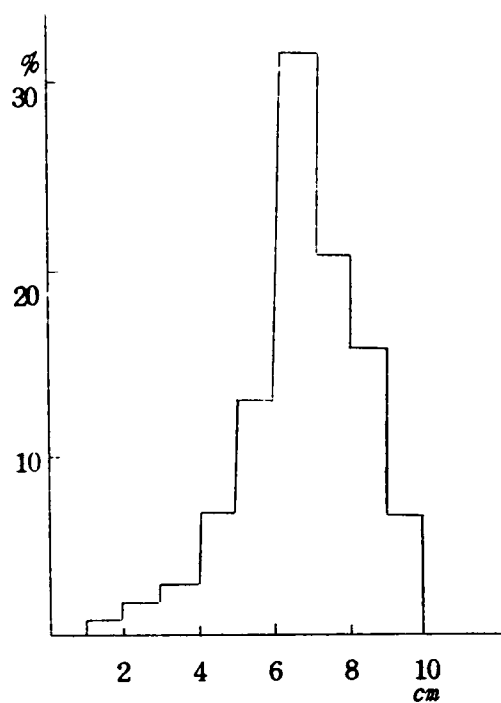


图 2-4 沈殿水透視度

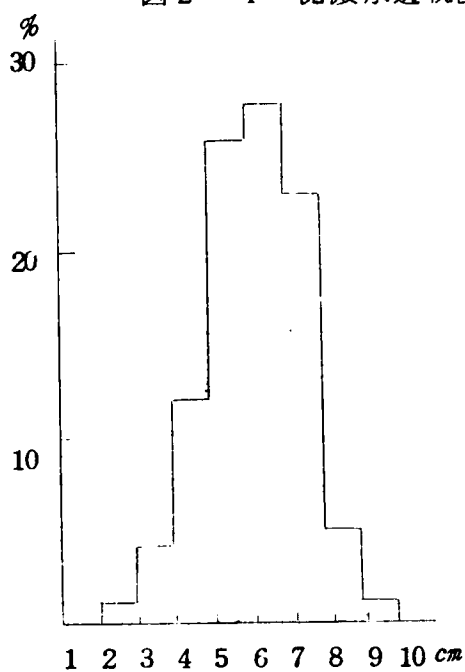


図 2 - 5 処理水透視度

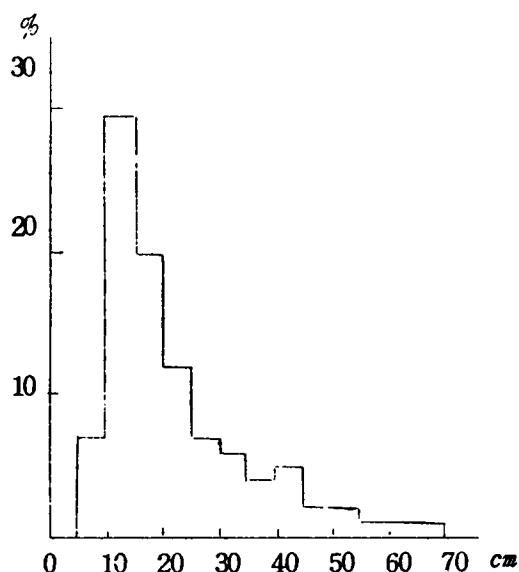


図 2 - 7 沈殿水 C O D

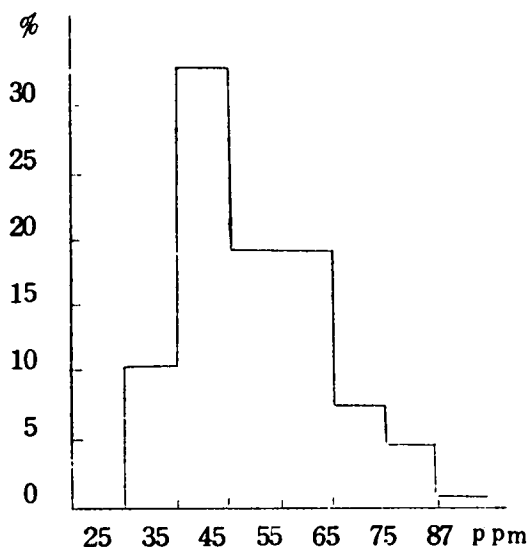


図 2 - 6 処理水 C O D

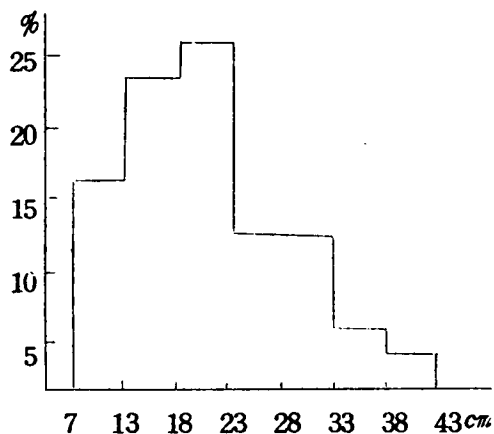
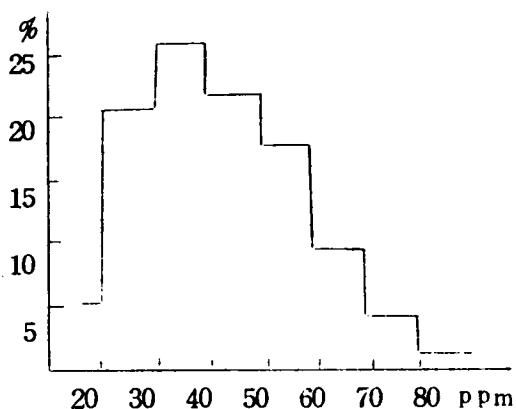


図 2 - 8 原水 C O D



気温の行の最下段の 0.02 の意味は 平均 14.5、分散 51.2 で、気温の測定値が正規分布するという仮定を否定するのが正しくないのは 100 回のうち 2 回である。つまり否定することが正しいのは 98% である。100 回のうち 98 回も否定されるから気温は正規分布するとはいえない。このように、表 2 - 1 最下段を左から右に眺めると、水温から原水塩化物にいたるど

の水質指標も正規分布するとはいえないことが明らかである。

5. 変数変換による分布形の変化

(1) 変数変換の手法

処理水CODや透視度はピークの右側（変数の大きい領域）に長く尾を引くような非対象の分布をしている。この理由は分散が一定ではなく、確率変数が大きくなると分散も大きくなることにある。したがって変数の大小にかかわらず、分散が一定になるよう変数を変換すれば、左右対称形の分布に近づけることができる。

変換の方法はつぎのようである。¹⁾

水量や水質の測定値を x であらわし、これが確率変数[※]であるとする。

$$z = \varphi(x) \dots\dots\dots 2-3$$

式(2-3)によって変量 x を z に変換すれば、その標準偏差 σ_z は z の大小にかかわらず一定値になるとする。 x の標準偏差を σ_x とすると、

$$\sigma_z \div \varphi'(x) \cdot \sigma_x \dots\dots\dots 2-4$$

式(2-4)が成立する。標準偏差 σ_x は x の関数であるから

$$\sigma_x = f(x) \dots\dots\dots 2-5$$

式(2-5)を式(2-4)に代入して変形すると

$$\varphi'(x) = \sigma_z / f(x) \dots\dots\dots 2-6$$

式(2-6)をえる。式(2-6)は $\varphi'(x)$ が $f(x)$ に反比例するように変換用の関数 φ を選べば σ_z は一定値になることを示している。

脚注

※ 本論文中独立変数を x 従属変数~~を~~ y と命名しているが、両者の区別の必要のない場合、いずれの変数をも変量と呼び一般的に x で表わす。

たとえば標準偏差が x に比例するような場合は

$$\sigma_x = k \cdot x \quad \dots\dots\dots 2-7$$

式 (2-7) でその関係が表わされるので、これを式 (2-6) に代入すると

$$\psi'(x) = \sigma_x / k \cdot x \quad \dots\dots\dots 2-8$$

積分すると

$$\psi(x) = \ln x \quad \dots\dots\dots 2-9$$

式 (2-9) が求める変換式であることがわかる。

つぎに、測定値の標準偏差の特性式と、それに対応する変換式の例を示す。

特性式	変換式	} 2-10
$\sigma_x = \sqrt{(x^2 - x)} / k$	$\sin^{-1} \sqrt{x}$	
$\sigma_x = k \sqrt{x^3}$	\sqrt{x}	
$\sigma_x = k x^{0.75}$	$\sqrt{\sqrt{x}}$	
$\sigma_x = k x$	$\ln x$	
$\sigma_x = k x^2$	$1/x$	

逆正弦変換 ($\sin^{-1} \sqrt{x}$) によって正規分布に近づく場合、 x は標本不良率の分布を、また平方根変換 (\sqrt{x}) 変換の場合は、ポアソン分布をしていることがわかっている。

(2) 歪 度

上に示した五つの変換式はいずれも、 x の大きいところで、分散も大きくなるタイプの分布形を対称分布に変換する目的に用いるものであるが、どの変換式が最適かは、左側の関係式が分らない限り不明である。そこで、五つの変換をすべての変量について実行し、式 (2-1) と式 (2-2)

表 2-2 変数変換した後の歪度と尖度

	変換式	原透視度			原水
		原水	沈殿水	処理水	
G_1	x	-0.50	-0.08	1.81	1.49
	$\sin^{-1}\sqrt{x}$	-1.23	-0.49	1.13	0.74
	\sqrt{x}	-1.22	-0.457	1.12	0.729
	$\sqrt{\sqrt{x}}$	-1.69	-0.76	0.78	0.28
	$\ln x$	-2.32	0.797	0.48	0.061
G_2'	x	1.03	0.255	3.56	5.46
	$\sin^{-1}\sqrt{x}$	3.86	1.31	0.97	1.79
	\sqrt{x}	3.55	0.31	0.84	1.27
	$\sqrt{\sqrt{x}}$	3.31	-1.34	0.00	2.06
	$\ln x$	10.81	0.93	-0.176	1.86

により G_1 と G_2' を計算してみた。表(2-2)は計算結果であり図2-9と図2-10はこのようにして求めた G_1 と G_2' をグラフ化したものである。図中の x は原データを、 $\sin^{-1}\sqrt{x}$ 、 \sqrt{x} 、 $\sqrt{\sqrt{x}}$ 、 $\ln x$ などは変換式を、1点鎖線は正規分布からずれが1%の信頼区間をそれぞれ示している。

表(2-2)の左側の流入水透視度の G_1 は-0.5であるから左側に尾を引く分布をしていることを表わしている。沈殿水透視度、原水温度も定性的に同様である。これに $\sin^{-1}\sqrt{x}$ 、 $\sqrt{\sqrt{x}}$ 、 $\ln x$ などの変換をほどこすと、

C O D		S V	塩 化 物		温度
沈 殿 水	処 理 水	混 合 水	原 水	処 理 水	外 気
0.541	0.896	1.39	0.27		-0.37
0.24	0.40	0.73	1.18	1.60	-0.52
0.277	0.402	0.721	0.624	1.041	-0.43
-0.11	0.11	0.25	-0.24	0.004	-0.81
-0.195	-0.123	-0.288	-0.637	-0.532	-0.871
-0.197	0.697	2.10	2.23		-0.793
-0.18	-0.17	0.80	9.60	11.7	-0.56
-0.84	-0.30	0.80	5.64	7.97	-2.22
2.88	-0.55	0.72	6.45	9.84	-1.03
2.58	0.221	1.441	-1.14	-0.27	4.49

ますます歪が大きくなっていく。xの小さいところで分散が大きいという分布形をもつデータの集団をこのような方法で変換することは無意味である。

原データの G_1 がプラスの値をもっている変量をこれらの方法で変換すると G_1 は小さくなっていく。自然対数変換が処理水透視度と原水C O Dの歪を最小にし、二重平方根変換が沈殿水C O D、処理水C O D、S V、原水塩化物、処理水塩化物、それぞれの G_1 を最小にする。いずれの変量

に対しても、 $\ln x$ 変換をえた G_1 と $\sqrt{\sqrt{x}}$ 変換をえた G_1 との差は小さい。

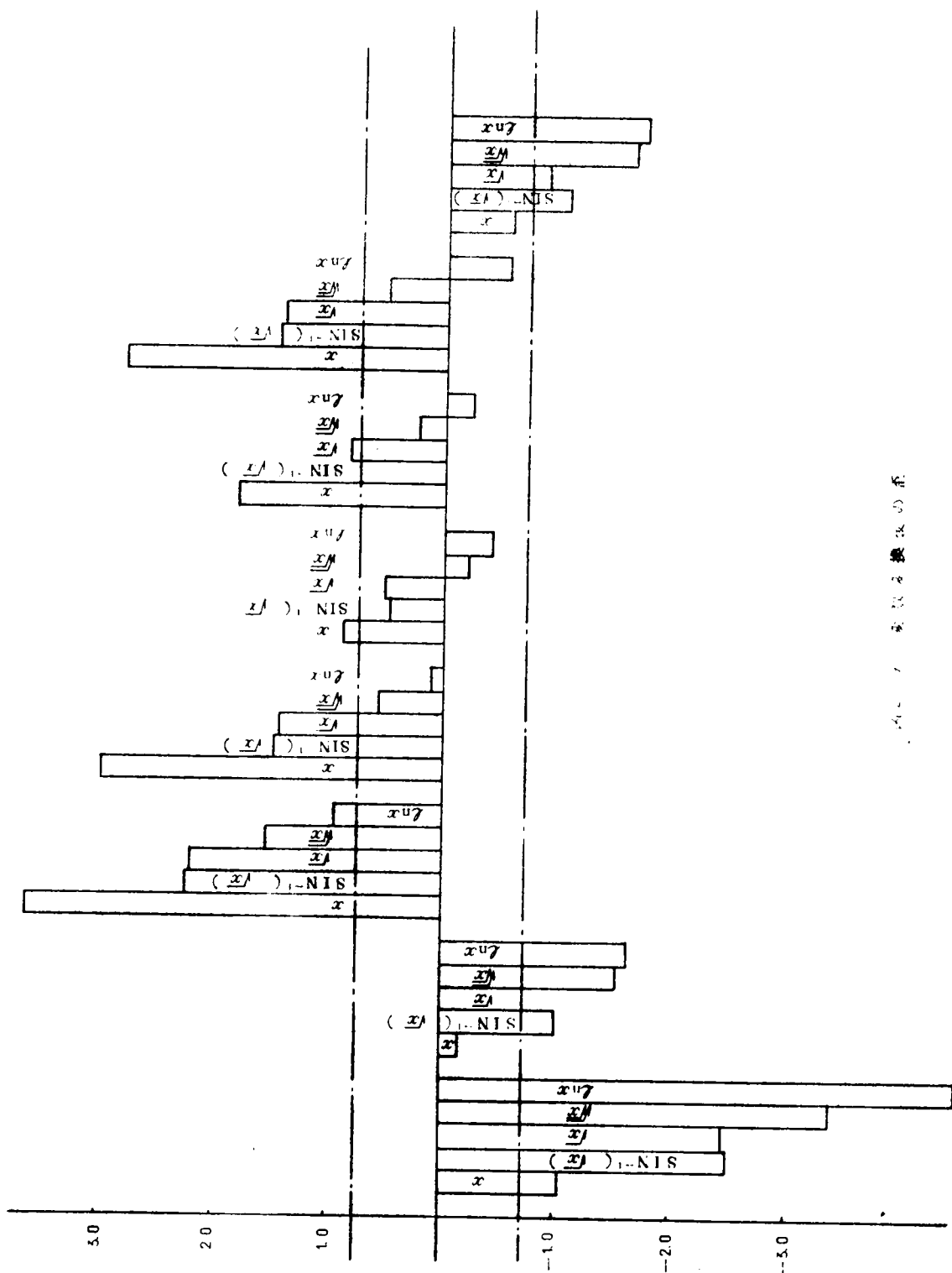
(3) 尖 度

図2-10をみると、原水透視度と沈殿水の透視度の尖度 G_2' は対数変換により、かえって正規分布のそれからずれていくことがわかる。原水CODと処理水透視度の尖度を最小にするのには対数変換であったが、尖度 G_2' を最小にするのは前者では平方根変換であり、後者は重平方根変換である。また、重平方根変換が歪度 G_1 を最小にしたのは沈殿水COD、処理水COD、SV、塩化物であったけれども、尖度 G_2' を最小にするとはかぎらない。このように歪度を補正するための最適変換式と尖度のそれとが一致しないところに問題がある。

(4) コルモゴロフスミルノッフのテスト

前節の方法で変数を変換したすべての変量の分布形の検討をした。正規分布であることを否定することが正しくない確率だけをまとめて表(2-3)にあげた。原水CODの対数変換したもののはそれは41.6%、処理水CODの対数変換では45.7%、原水CODの重自乗根変換では34.8%である。したがって、これを正規分布に近づける上の変換法は自然対数変換であるといえる。この場合、正規分布であると断定して正しい確率は約40~50%の間である。

原水透視度
 沈殿水透視度
 処理水透視度
 原水COD
 沈殿水COD
 処理水COD
 SV
 原水温度



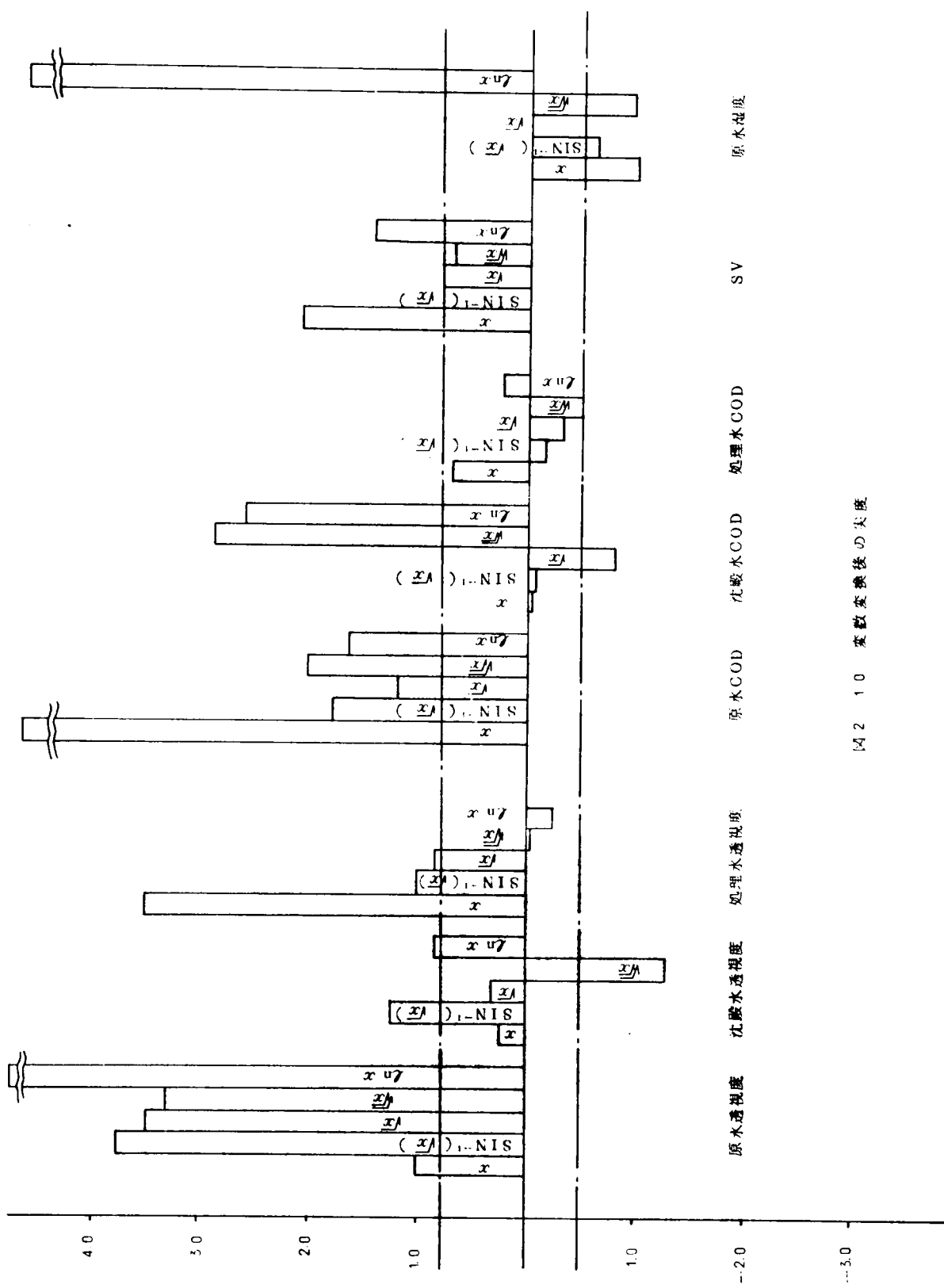


図2 10 変数変換後の尺度

表 2-3 変数変換した変量分布が正規分布であることの確率

	原水透視度	沈降水透視度	処理水透視度	原水 COD	沈降水 COD
x	0.0	0.0	0.0	0.018	0.001
$\sin^{-1}\sqrt{x}$	0.0	0.0	0.0	0.135	0.017
x	0.0	0.0	0.0	0.139	0.019
$\sqrt{\sqrt{x}}$	0.0	0.0	0.0	0.348	0.063
$\ln x$	0.0	0.0	0.001	0.416	0.124
	処理水 COD	S V	原水塩化物	処理水塩化物	
x	0.001	0.00	0.007	0.000	
$\sin^{-1}\sqrt{x}$	0.122	0.00	0.043	0.007	
\sqrt{x}	0.120	0.00	0.042	0.019	
$\sqrt{\sqrt{x}}$	0.285	0.002	0.019	0.019	
$\ln x$	0.457				

4. 考察と総括

集団の特性をあらわす代表値に何を選ぶかは、目的とその集団の特性によるべきである。

習慣的に代表値として用いている平均値とは力学的には回転モーメントの中心、つまり質点系の重心の位置を示す尺度である。幾何学的には、N本の軸をもつ空間において、各軸上に1個ずつ点がのっているとする、このN個の点はひとつの超平面を定義するが、この超平面上の任意の点 \bar{x} は各点の1次結合であらわすことができる。1次結合の係数からなる重みベクトルがす

べて $1/N$ に等しいとすると、式 (2-11) をえる。

$$\bar{X} = \frac{1}{N} x_1 + \frac{1}{N} x_2 + \cdots + \frac{1}{N} x_N \quad \cdots \cdots \cdots 2-11$$

つまり、平均値 \bar{X} は、重みベクトルがすべて $1/N$ に等しいというときの合成変量であるから、個々の値がどうであろうとも、それを問題にせずひとつに取りまとめたものに等しい。水量や汚濁物の総量を問題にするとき、母集団の分布形がどうであろうとも、平均値を代表値にするのは合理的である。

しかしながら、頻度が問題になるとき、正規分布以外の母集団の代表値としての算術平均の意義はうすい。たとえば、悪質の下水が河川に放流されても、頻度が小さければ、その瞬間には河川水は悪化するけれども、河川水とともにただちに流下してしまふから、それ以外の大部分のとき、河川水の水質は良好というわけである。正規分布など左右対象の分布の場合のみ、平均値は非超過の確率 50% という意義をもつ。いまひとつの重要な平均値の問題点は平均値はすべてのデータの値に関係して決定されるから、分布の汚れともいふべき異常値の影響を受けることである。河川汚濁に対する影響の尺度として、下水処理場放流水の COD など正規分布しない変量の算術平均が不合理であることが理解される。

算術平均のように異常値の影響を受けないこと、およびより多くの情報を含んでいるという理由により、中央値の方が代表値として好ましい。中央値は 50 パーセンタイルであるから、これを代表値にすれば、河川に与える下水処理場放流水の影響の回数とその大きさが 50% の非超過の確率で示されたことになる。表 (2-1) のメデイアンの欄に中央値を計算して示してある。算術平均値と中央値とはそれほど大きい差はない。しかし、環境基準などで μppm が問題になるとき、中央値と平均値との差は意味が深い。

平均値まわりの 2 次の積率は分散であるから、分散とは、力学的に質点系

の慣性モーメントに等しい。慣性モーメントが小さいほど直線のまわりに回転し易い。質点は中心近くに集まっていることを示す。母集団が正規分布するとき、平均値を中央にはさんだ 2σ の範囲内に全データの 68.27% が含まれていることがただちに理解される。しかし、 G_1 が 0 以外のいわゆる歪んだ分布に対してはこのようなことは成立しないので、分散や標準偏差は、データちらばりぐあいを示す指標にはなりがたい。このような場合、25パーセンタイルや75パーセンタイルを用いるべきであろう。

1 カ月 1 回ずつ精密試験をしたとすると 1 年間に 12 回分のデータが集まる。これら 12 個のデータの算術平均値を無意識のうちに母平均の推定値であると考え、これを 1 年間の水質の代表値にすることが多い。母集団が正規分布している場合、以上の方法は正しい。何とならば、正規母集団から N 個ずつ何回かサンプリングして、1 回ごとの平均値 \bar{x} を何回か求めたとき、次の式 (2-12) のように、

$$E(\bar{x}) = \mu \quad \dots\dots\dots 2-12$$

その \bar{x} の期待値は母平均 μ に等しく、また \bar{x} の分散、

$$V A R(\bar{x}) = \sigma^2 / N \quad \dots\dots\dots 2-13$$

は式 (2-12) 以外のいかなる μ の推定値の分散よりも小さいことがわかっているから、標本平均は母平均の最良推定値になるからである。しかしながら母集団が正規分布しないとき、式 (2-13) に示す \bar{x} の分散が最小になるとはかぎらない。すなわち式 (2-12) は母平均の推定値を与える式としての効率が低下してくる。(θ の最良推定値を $\hat{\theta}_0$ 、任意の推定値を θ とすると、 $\hat{\theta}_0$ の効率は²⁾ の次ように定義される。

$$E = V A R(\hat{\theta}_0) / V A R(\theta)$$

最初に述べたように、正規分布しない水質データの代表値として母平均を

用いることに疑問は多いけれども、何かの理由によりどうしても母平均を数少ない標本から推定する必要がある場合、標本算術平均値をこれに当てるモーメント法は前述のように好きくないので、中心極限定理（母集団の分布形が何であろうとも、ランダムに取り出した N 個の標本平均 \bar{x} 分布は $N(\mu, \sigma^2)$ で近似される。ここに μ と σ^2 は母平均および母分散である。）を用いるべきであろう。上例では年間に得た 12 個の測定値を 4～6 ぐらいのグループにわけ（確率化されているかぎり、重複して同じ値を取り出してもよい）、そのグループごとの平均値 \bar{x} を求め、それらの平均値 $\bar{\bar{x}}$ を計算すれば、それが母平均 μ の推定値になるわけである。

ここでとりあげた水温、透視度……塩化物など 10 種類の変量のうち処理水 COD を除くと、いずれも正規分布からかけ離れ、常用の手段では正規化されないという事実はこれらの量変の変動は全くランダムではなく、何か特別の規則性をもっていることを意味する。この規則性については次章で詳しく検討する。

5. 参 考 文 献

- 1) 日本科学技術連盟品質管理編、“統計理論”、1959 日本科学技術連盟
- 2) Bennett of Franklin、“Statistical Analysis in chemistry and the chemical industry”、John wiley、1961。

6. アペンデックス

気 温	水 温	原水透明度	汚泥沈降速度	如鉄水透明度	原木 COD	泥炭水 COD	如鉄水 COD	スラッジ不純物	原木盛化物	如鉄水盛化物
19.500	16.000	6.000	8.000	9.000	50.000	47.000	35.000	7.000	220.000	345.000
21.000	17.000	7.000	8.000	10.000	65.000	55.000	33.000	9.000	160.000	270.000
21.500	16.500	4.000	6.000	9.000	33.000	68.000	23.000	12.000	50.000	60.000
19.000	16.500	6.000	6.000	16.000	58.000	43.000	18.000	6.000	110.000	130.000
13.000	17.000	6.000	7.000	13.000	44.000	50.000	22.000	7.000	100.000	170.000
12.500	15.500	7.500	7.000	15.000	50.000	46.000	28.000	9.000	100.000	120.000
17.500	16.000	9.000	8.000	12.000	44.000	38.000	20.000	9.000	125.000	95.000
20.000	16.500	7.000	6.000	9.500	56.000	50.000	20.000	8.500	130.000	130.000
19.500	16.500	8.000	7.500	15.000	42.000	42.000	22.000	9.000	110.000	135.000
17.000	16.000	5.000	5.000	15.000	26.000	36.000	22.000	9.500	80.000	130.000
22.000	16.000	9.000	7.000	12.000	28.000	34.000	22.000	9.500	90.000	110.000
21.000	16.500	8.000	5.000	11.000	40.000	22.000	28.000	6.000	100.000	120.000
20.500	16.500	9.000	7.000	15.000	38.000	36.000	25.000	6.000	120.000	160.000
17.500	16.500	9.000	8.000	15.000	36.000	36.000	16.000	6.000	115.000	160.000
18.000	17.500	9.000	8.000	11.000	31.000	38.000	26.000	6.000	125.000	140.000
20.500	16.500	7.500	5.000	12.000	30.000	32.000	25.000	11.000	60.000	115.000
21.800	17.000	9.000	8.000	9.000	21.000	24.000	13.000	6.000	75.000	105.000
21.500	17.500	9.000	9.000	11.000	25.000	26.000	15.000	6.000	75.000	105.000
22.000	17.500	9.000	7.000	13.000	25.000	27.000	13.000	5.500	70.000	100.000
21.500	17.000	10.000	7.000	20.000	26.000	26.000	14.000	5.000	140.000	140.000
22.000	17.500	9.000	5.500	23.000	27.000	40.000	17.000	5.000	110.000	160.000
17.000	17.000	9.000	10.000	17.000	25.000	29.000	14.000	6.500	105.000	150.000
21.500	17.500	10.000	9.000	20.000	32.000	35.000	17.000	5.500	90.000	135.000
18.000	17.500	8.000	7.500	22.000	38.000	40.000	16.000	7.000	230.000	225.000
22.000	16.000	9.000	7.500	15.000	33.000	32.000	18.000	7.000	165.000	200.000
23.000	16.000	9.000	8.000	15.000	35.000	34.000	15.000	7.500	160.000	190.000
22.000	16.000	8.000	8.000	17.000	40.000	46.000	21.000	8.500	140.000	150.000
22.500	16.500	7.000	8.000	37.000	37.000	35.000	12.000	10.500	125.000	140.000
24.000	16.500	7.500	6.000	30.000	34.000	35.000	12.000	12.000	130.000	140.000
24.000	19.500	9.000	8.000	31.000	40.000	41.000	13.000	9.500	115.000	120.000
23.500	19.000	8.000	8.000	19.000	36.000	40.000	17.000	8.500	100.000	135.000
26.000	19.000	8.000	7.000	15.000	34.000	35.000	20.000	8.500	115.000	120.000
25.500	19.000	7.000	5.000	15.000	34.000	62.000	23.000	4.000	125.000	115.000
20.000	19.500	7.000	8.000	25.000	48.000	44.000	15.000	8.000	215.000	215.000
26.000	20.000	7.000	5.000	33.000	52.000	44.000	14.000	9.000	175.000	130.000
27.000	20.000	7.000	7.000	20.000	64.000	54.000	19.000	9.500	220.000	240.000
25.500	20.000	9.000	6.000	12.000	58.000	52.000	21.000	6.500	220.000	195.000
26.500	20.000	7.000	7.000	10.000	52.000	45.000	20.000	3.500	300.000	200.000
26.500	20.500	7.000	5.000	11.000	50.000	50.000	20.000	5.000	305.000	380.000
24.000	20.500	9.000	8.000	10.000	45.000	40.000	19.000	6.000	100.000	100.000

表 2A 17. 原予-9

気 温	水 温	原木産地度	沉炭水産地度	如理水産地度	原木COD	沉炭水COD	如理水COD	スラッジリム	原木盛仁物	如理水盛仁物
24.000	18.500	7.500	6.000	30.000	34.000	32.000	12.000	12.000	130.000	140.000
24.000	19.500	9.000	8.000	31.000	40.000	41.000	13.000	9.500	115.000	120.000
23.500	19.000	8.000	8.000	19.000	38.000	40.000	17.000	8.500	105.000	135.000
26.000	19.000	8.000	7.000	15.000	34.000	35.000	20.000	8.500	115.000	120.000
25.500	19.000	7.000	5.000	15.000	34.000	32.000	23.000	4.000	125.000	115.000
20.000	15.500	7.000	8.000	25.000	48.000	44.000	15.000	8.000	215.000	215.000
28.000	20.000	7.000	5.000	33.000	52.000	44.000	14.000	9.000	175.000	130.000
27.000	20.000	7.000	6.000	20.000	64.000	34.000	19.000	9.500	220.000	240.000
25.500	20.000	9.000	6.000	12.000	68.000	52.000	21.000	6.500	220.000	195.000
26.500	20.000	7.000	7.000	10.000	52.000	42.000	20.000	8.500	300.000	300.000
26.500	20.500	7.000	5.000	11.000	50.000	31.000	25.000	5.000	305.000	380.000
24.000	20.500	9.000	6.000	10.000	45.000	40.000	19.000	6.000	100.000	100.000
22.000	20.000	8.500	6.000	11.000	25.000	25.000	20.000	1.500	100.000	110.000
20.000	20.000	9.000	6.000	10.000	25.000	22.000	20.000	6.000	130.000	130.000
22.000	19.500	8.000	5.000	13.000	39.000	46.000	22.000	2.500	165.000	110.000
20.500	19.000	8.000	6.000	16.000	30.000	33.000	17.000	10.000	175.000	105.000
24.000	20.000	6.500	6.000	15.000	36.000	30.000	17.000	10.000	175.000	150.000
27.000	20.000	7.000	6.000	24.000	34.000	30.000	16.000	13.000	200.000	140.000
24.000	20.000	6.000	6.000	42.000	48.000	44.000	12.000	11.000	160.000	160.000
21.000	20.000	8.000	7.000	31.000	28.000	35.000	12.000	6.500	80.000	110.000
19.500	20.000	6.000	7.000	25.000	26.000	29.000	9.000	8.000	105.000	110.000
23.500	20.000	8.000	6.000	24.000	24.000	25.000	10.000	10.000	145.000	145.000
26.000	20.500	6.000	6.000	29.000	35.000	35.000	8.000	10.000	140.000	205.000
27.000	22.500	9.500	6.500	20.000	29.000	35.000	11.000	12.000	135.000	110.000
24.500	22.000	9.000	6.000	25.000	24.000	39.000	10.000	7.500	150.000	150.000
22.500	21.500	7.500	7.500	21.000	41.000	39.000	12.000	9.000	140.000	150.000
23.500	21.000	10.000	7.000	21.000	33.000	37.000	14.000	9.000	120.000	150.000
27.000	21.500	10.000	7.000	15.000	36.000	40.000	18.000	11.000	120.000	110.000
26.500	21.500	11.000	6.500	20.000	28.000	35.000	15.000	10.000	130.000	135.000
23.000	21.000	10.000	6.000	17.000	36.000	37.000	14.000	9.500	140.000	140.000
26.000	21.000	7.000	7.000	31.000	38.000	30.000	12.000	7.000	160.000	180.000
24.000	20.500	5.000	6.000	35.000	35.000	34.000	12.000	8.000	80.000	120.000
24.000	20.500	7.500	8.000	43.000	30.000	35.000	12.000	7.000	130.000	135.000
23.000	20.500	9.000	8.000	43.000	30.000	31.000	10.000	6.000	140.000	150.000
20.500	20.500	9.000	7.000	33.000	26.000	38.000	13.000	6.000	95.000	145.000
24.000	20.000	9.000	7.000	27.000	26.000	30.000	9.000	6.000	105.000	90.000
22.000	21.000	6.000	7.500	46.000	31.000	32.000	11.000	7.000	150.000	130.000
25.000	20.500	8.500	5.500	44.000	29.000	41.000	10.000	7.500	140.000	120.000
26.000	21.000	7.000	7.000	41.000	47.000	39.000	15.000	6.000	120.000	120.000
25.500	20.500	10.000	7.000	35.000	31.000	40.000	20.000	8.000	130.000	130.000

气温	水温	原水透明度	沉淀速度	处理水透明度	原水COD	沉淀COD	处理水COD	石灰剂量	原水氯化物	处理水氯化物
25.500	21.000	8.000	6.000	38.000	38.000	41.000	12.000	9.500	140.000	140.000
22.000	20.500	8.000	6.000	80.000	32.000	45.000	9.000	9.000	190.000	170.000
22.000	20.500	7.500	6.000	45.000	41.000	35.000	13.000	8.000	210.000	175.000
22.000	20.500	8.000	7.000	60.000	33.000	37.000	13.000	8.000	210.000	195.000
20.000	20.500	6.500	7.000	60.000	43.000	45.000	9.000	9.500	220.000	165.000
24.000	21.000	8.000	8.000	76.000	44.000	44.000	19.000	8.000	175.000	175.000
26.500	21.000	9.000	9.000	70.000	38.000	39.000	13.000	5.500	155.000	145.000
26.500	21.000	7.500	6.000	85.000	43.000	47.000	11.000	5.500	135.000	165.000
22.000	21.500	8.000	7.000	85.000	43.000	44.000	11.000	6.000	170.000	145.000
23.500	21.500	9.000	6.000	62.000	41.000	48.000	11.000	6.000	160.000	140.000
20.000	20.000	5.000	5.000	40.000	40.000	47.000	13.000	5.000	95.000	160.000
21.500	20.000	5.000	7.000	45.000	31.000	42.000	12.000	5.000	90.000	110.000
20.000	20.000	7.500	6.000	26.000	30.000	40.000	13.000	6.000	170.000	155.000
20.000	19.500	9.500	8.000	30.000	32.000	40.000	13.000	6.000	110.000	160.000
16.000	20.000	10.000	7.000	23.000	31.000	40.000	15.000	5.000	145.000	145.000
15.000	19.500	7.000	8.000	40.000	38.000	36.000	11.000	9.000	180.000	150.000
18.000	19.000	7.000	7.000	45.000	41.000	40.000	9.000	9.500	170.000	150.000
16.000	16.500	6.000	8.500	41.000	47.000	38.000	14.000	5.500	120.000	110.000
16.000	19.000	7.000	6.500	24.000	42.000	44.000	21.000	6.500	130.000	155.000
16.000	19.000	9.000	7.000	33.000	37.000	39.000	13.000	15.000	120.000	130.000
20.000	18.500	8.000	7.000	35.000	41.000	44.000	14.000	16.000	150.000	140.000
14.000	16.000	8.500	8.000	39.000	37.000	40.000	12.000	13.000	140.000	120.000
16.000	18.000	7.500	6.000	26.000	42.000	53.000	15.000	8.000	145.000	155.000
13.000	18.500	8.500	5.000	30.000	42.000	49.000	15.000	8.000	190.000	170.000
13.000	15.500	6.000	5.000	30.000	23.000	39.000	11.000	8.000	55.000	65.000
19.000	16.000	8.000	6.000	28.000	25.000	33.000	11.000	7.500	100.000	110.000
21.000	17.000	8.000	6.000	28.000	41.000	38.000	14.000	5.000	220.000	210.000
18.000	18.000	9.000	6.000	55.000	35.000	44.000	10.000	7.000	160.000	175.000
17.500	18.000	8.000	7.000	51.000	42.000	43.000	13.000	8.000	150.000	160.000
17.500	17.500	7.000	6.000	50.000	42.000	42.000	13.000	7.500	130.000	145.000
16.500	17.500	7.000	7.000	43.000	44.000	44.000	16.000	10.000	125.000	135.000
19.000	17.500	7.500	9.000	51.000	42.000	43.000	14.000	6.000	140.000	160.000
19.000	17.500	7.000	6.000	45.000	48.000	52.000	14.000	8.000	140.000	150.000
20.500	17.500	7.500	6.000	48.000	58.000	63.000	14.000	10.000	180.000	180.000
19.000	18.000	7.000	6.000	52.000	62.000	68.000	15.000	7.000	160.000	175.000
18.500	18.500	6.000	6.000	52.000	52.000	52.000	16.000	8.500	170.000	220.000
19.500	18.000	1.000	5.000	44.000	145.000	56.000	16.000	7.500	210.000	200.000
19.000	18.500	5.000	6.000	24.000	60.000	56.000	21.000	8.000	190.000	190.000
18.000	18.000	7.000	4.000	8.000	52.000	56.000	40.000	13.000	175.000	170.000
14.500	17.500	7.000	7.000	55.000	39.000	39.000	16.000	13.000	170.000	190.000

気温	水温	原水透明度	沉殿透明度	処理透明度	原水COD	沉殿COD	処理COD	処理水COD	スラッジリム	原水盛化物	処理水盛化物
7.000	17.500	7.500	6.000	17.000	53.000	57.000	28.000	28.000	11.000	145.000	175.000
5.500	17.500	7.000	5.500	9.000	56.000	61.000	42.000	42.000	12.000	140.000	150.000
17.500	17.000	7.000	5.500	35.000	62.000	67.000	20.000	20.000	6.500	160.000	140.000
15.500	17.000	7.000	7.000	24.000	58.000	63.000	25.000	25.000	7.000	145.000	170.000
13.000	17.000	7.000	7.000	31.000	62.000	62.000	30.000	30.000	12.000	130.000	140.000
13.000	16.500	7.500	7.000	30.000	61.000	62.000	18.000	18.000	11.000	165.000	165.000
12.000	16.000	7.000	7.000	28.000	68.000	64.000	21.000	21.000	8.000	150.000	170.000
14.500	16.000	7.000	7.000	17.000	66.000	64.000	23.000	23.000	7.500	200.000	195.000
15.000	16.000	8.000	7.000	20.000	54.000	59.000	18.000	18.000	9.000	220.000	200.000
18.500	16.500	7.000	7.000	16.000	54.000	54.000	18.000	18.000	9.000	290.000	250.000
18.500	16.500	7.000	6.500	14.000	58.000	62.000	26.000	26.000	8.500	230.000	250.000
20.500	16.500	6.500	6.000	17.000	50.000	64.000	22.000	22.000	8.500	190.000	195.000
12.000	16.500	7.000	7.000	12.000	61.000	62.000	32.000	32.000	11.000	190.000	210.000
16.000	16.000	6.000	6.000	15.000	65.000	67.000	29.000	29.000	13.000	150.000	170.000
16.000	16.000	7.000	6.500	18.000	50.000	52.000	22.000	22.000	8.000	150.000	170.000
16.000	15.500	5.000	5.000	18.000	77.000	80.000	34.000	34.000	12.000	160.000	120.000
17.000	16.000	7.000	6.000	20.000	65.000	68.000	18.000	18.000	10.000	220.000	145.000
13.000	16.000	7.000	7.000	40.000	70.000	74.000	23.000	23.000	12.000	140.000	160.000
7.000	12.000	4.000	5.000	35.000	52.000	56.000	18.000	18.000	11.000	170.000	180.000
7.000	13.000	6.000	5.000	27.000	48.000	52.000	14.000	14.000	9.500	45.000	150.000
5.000	16.000	7.000	7.000	25.000	48.000	49.000	19.000	19.000	8.500	85.000	60.000
5.000	15.500	7.000	7.000	11.000	50.000	54.000	40.000	40.000	9.500	120.000	140.000
6.500	14.500	4.000	5.000	14.000	50.000	52.000	20.000	20.000	15.000	150.000	120.000
5.500	15.500	7.000	6.000	15.000	42.000	42.000	30.000	30.000	14.000	30.000	40.000
4.500	14.500	4.000	5.000	15.000	39.000	40.000	20.000	20.000	14.000	100.000	90.000
16.000	14.000	6.000	6.000	10.000	36.000	37.000	15.000	15.000	8.000	50.000	110.000
4.500	14.500	7.000	6.000	13.000	46.000	47.000	22.000	22.000	17.000	120.000	55.000
10.500	15.500	7.000	5.000	12.000	70.000	76.000	24.000	24.000	15.000	95.000	140.000
12.500	15.000	2.000	6.000	10.000	120.000	60.000	29.000	29.000	16.000	120.000	120.000
10.500	15.000	7.000	7.000	10.000	60.000	62.000	32.000	32.000	19.000	205.000	190.000
7.000	14.500	7.000	5.000	10.000	52.000	55.000	32.000	32.000	21.000	160.000	150.000
10.500	14.500	5.000	7.000	10.000	60.000	60.000	32.000	32.000	17.000	140.000	138.000
17.000	15.000	6.000	7.000	14.000	72.000	69.000	30.000	30.000	18.000	135.000	165.000
8.500	14.500	7.000	5.500	21.000	46.000	42.000	28.000	28.000	25.000	190.000	180.000
12.500	14.000	7.000	8.000	21.000	46.000	41.000	18.000	18.000	22.000	150.000	160.000
6.000	14.000	9.000	8.500	20.000	51.000	53.000	19.000	19.000	21.000	145.000	140.000
8.000	14.000	8.500	9.000	17.000	74.000	74.000	32.000	32.000	22.000	195.000	180.000
7.000	14.000	7.000	7.500	15.000	54.000	58.000	19.000	19.000	25.000	150.000	140.000
7.000	14.000	6.500	6.500	18.000	64.000	64.000	22.000	22.000	32.000	150.000	150.000

表 2A15 池田川

気 温	水 温	原水透明度	沉澱水透明度	処理水透明度	原水COD	沉澱水COD	処理水COD	スラッジリム	原水盛仁物	処理水盛仁物
3.000	12.500	12.000	11.000	12.000	53.000	56.000	24.000	31.000	195.000	180.000
8.500	13.000	10.000	10.000	10.000	53.000	50.000	26.000	27.000	215.000	180.000
9.000	13.000	8.000	7.500	12.000	58.000	61.000	22.000	27.000	195.000	220.000
7.000	12.500	8.000	8.000	11.000	78.000	73.000	28.000	27.000	200.000	180.000
8.000	12.000	7.000	6.000	11.000	51.000	52.000	23.000	27.000	180.000	170.000
7.500	12.000	7.000	7.500	13.000	64.000	62.000	23.000	28.000	160.000	150.000
8.000	12.000	7.500	8.000	12.000	62.000	63.000	23.000	21.000	140.000	180.000
6.000	12.000	6.000	5.000	11.000	52.000	52.000	22.000	29.000	130.000	110.000
6.000	12.000	6.000	6.000	20.000	62.000	62.000	21.000	5.000	130.000	140.000
5.500	12.000	7.000	6.500	13.000	56.000	54.000	46.000	10.000	170.000	140.000
6.000	12.000	7.500	7.500	9.000	54.000	62.000	33.000	26.000	150.000	145.000
6.000	12.200	7.200	6.000	24.000	76.000	65.000	22.000	4.000	210.000	170.000
11.600	12.000	7.500	4.000	15.000	50.000	75.000	28.000	16.000	155.000	170.000
7.000	12.000	8.000	6.500	13.000	56.000	62.000	23.000	15.000	165.000	165.000
6.000	12.000	6.000	7.000	13.000	62.000	64.000	36.000	11.000	165.000	150.000
14.500	12.500	6.000	5.500	14.000	54.000	54.000	16.000	8.000	170.000	150.000
10.500	12.500	7.000	6.500	15.000	56.000	57.000	21.000	15.000	180.000	150.000
11.000	12.500	5.000	5.000	15.000	76.000	82.000	19.000	16.000	280.000	155.000
13.500	12.500	7.000	7.000	15.000	55.000	55.000	18.000	19.000	120.000	145.000
11.000	12.500	6.000	5.500	16.000	64.000	78.000	20.000	15.000	150.000	150.000
3.000	11.500	4.500	3.500	12.000	60.000	60.000	23.000	12.000	130.000	140.000
3.000	11.000	5.500	5.500	13.000	51.000	56.000	21.000	4.000	120.000	130.000
5.500	10.500	5.500	4.000	16.000	56.000	58.000	20.000	8.000	160.000	105.000
13.500	10.500	7.000	6.000	11.000	44.000	47.000	16.000	7.000	150.000	100.000
6.500	11.500	6.000	7.000	26.000	49.000	50.000	15.000	8.500	110.000	105.000
5.000	11.500	7.000	6.500	27.000	52.000	54.000	16.000	12.000	155.000	120.000
9.500	11.000	5.000	5.000	21.000	46.000	52.000	18.000	11.000	85.000	140.000
5.000	10.000	6.000	4.000	7.000	56.000	52.000	33.000	11.000	170.000	120.000
6.000	10.500	6.500	7.200	11.000	54.000	53.000	23.000	11.000	150.000	135.000
9.000	12.000	6.000	6.500	11.000	60.000	57.000	24.000	12.000	160.000	150.000
12.500	12.000	6.500	6.000	13.000	65.000	59.000	20.000	14.000	145.000	165.000
14.000	13.500	5.000	5.000	17.000	68.000	62.000	18.000	12.000	200.000	180.000
14.500	13.000	5.000	6.000	35.000	65.000	71.000	17.000	15.000	135.000	150.000
16.000	13.500	5.000	5.000	22.000	72.000	72.000	18.000	14.000	190.000	150.000
7.000	13.000	3.000	5.500	10.000	100.000	82.000	32.000	22.000	190.000	90.000
6.500	11.000	7.000	6.000	15.000	64.000	64.000	17.000	22.000	170.000	110.000
4.500	8.000	3.000	4.000	16.000	54.000	62.000	21.000	22.000	60.000	110.000
7.000	10.000	3.500	4.500	17.000	67.000	53.000	16.000	23.000	120.000	110.000
6.000	12.000	6.000	5.500	11.000	50.000	74.000	18.000	23.000	185.000	125.000
4.000	11.000	7.000	7.000	8.000	70.000	73.000	31.000	13.000	175.000	100.000

気 温	水 温	原水透明度	沉殿透明度	如野透明度	原水COD	沉殿水COD	如理水COD	スラッジリム	原水塩化物	如理水塩化物
5.500	12.000	8.000	8.000	7.500	72.000	73.000	26.000	20.000	185.000	140.000
4.500	11.500	6.000	5.500	11.000	81.000	94.000	35.000	17.000	150.000	100.000
3.000	12.000	9.500	10.000	10.000	61.000	65.000	30.000	20.000	120.000	130.000
4.000	11.000	6.000	6.000	8.500	84.000	82.000	32.000	21.000	135.000	135.000
1.000	11.000	5.000	5.000	5.000	84.000	77.000	52.000	16.000	130.000	100.000
5.000	10.000	4.000	4.000	10.000	71.000	72.000	35.000	14.500	120.000	100.000
6.000	11.500	5.000	6.000	10.000	80.000	72.000	39.000	3.000	130.000	115.000
8.000	11.500	7.000	6.000	11.000	78.000	75.000	31.000	10.000	170.000	130.000
7.500	11.500	7.000	6.000	14.000	67.000	73.000	32.000	8.000	190.000	140.000
7.000	10.000	4.500	4.000	11.000	72.000	65.000	29.000	7.000	120.000	140.000
6.500	10.000	5.000	5.000	7.000	48.000	50.000	30.000	3.500	95.000	105.000
7.000	11.000	3.000	7.000	10.000	66.000	54.000	35.000	6.000	135.000	150.000
10.000	12.000	7.000	6.000	4.000	74.000	78.000	45.000	23.000	170.000	170.000
10.000	12.000	5.000	8.000	15.000	72.000	65.000	26.000	13.000	140.000	130.000
5.000	11.500	6.000	6.000	16.000	85.000	94.000	40.000	4.000	180.000	185.000
5.500	10.500	6.000	6.000	13.000	82.000	78.000	38.000	10.000	150.000	150.000
7.500	6.500	4.000	5.000	13.000	62.000	53.000	29.000	8.000	70.000	110.000
9.000	11.000	5.500	7.500	9.000	60.000	56.000	42.000	.000	170.000	170.000
9.500	11.500	4.000	7.000	8.000	80.000	62.000	46.000	.000	185.000	165.000
1.500	12.000	8.000	7.000	10.000	58.000	53.000	32.000	8.000	170.000	130.000
14.500	12.000	7.000	6.500	10.000	62.000	64.000	42.000	9.500	190.000	200.000
10.500	12.000	8.000	8.000	22.000	52.000	56.000	25.000	13.000	220.000	220.000
11.500	13.000	4.000	4.000	10.000	59.000	69.000	31.000	11.000	195.000	195.000
15.000	12.500	6.000	7.000	11.000	62.000	61.000	28.000	10.000	165.000	180.000
15.000	13.000	8.500	8.500	13.000	53.000	46.000	27.000	12.000	175.000	180.000
19.000	13.500	7.000	8.000	10.000	54.000	54.000	34.000	10.000	240.000	190.000
13.000	14.000	7.000	7.500	12.000	50.000	56.000	34.000	9.000	175.000	165.000
9.500	13.500	8.000	9.000	23.000	52.000	52.000	24.000	6.000	205.000	160.000
2.000	12.500	5.000	5.000	15.000	36.000	34.000	16.000	4.000	110.000	70.000
3.000	13.000	7.000	7.000	9.000	50.000	62.000	24.000	20.000	140.000	120.000
14.000	14.000	9.000	8.000	10.000	60.000	64.000	28.000	15.000	155.000	175.000
13.500	13.500	7.000	7.000	9.000	74.000	75.000	31.000	16.000	230.000	190.000
19.000	14.000	8.000	5.000	15.000	61.000	62.000	27.000	12.000	230.000	170.000
12.000	14.000	8.000	8.000	22.000	45.000	43.000	20.000	13.000	640.000	500.000
14.000	14.000	7.000	7.500	13.000	50.000	64.000	23.000	12.000	170.000	210.000
15.000	13.500	3.000	4.000	13.000	51.000	86.000	28.000	11.000	230.000	170.000
20.000	14.500	7.000	6.000	13.000	52.000	52.000	26.000	14.000	135.000	185.000
17.000	14.500	6.000	8.000	9.000	70.000	62.000	34.000	17.000	205.000	165.000
14.000	15.000	6.000	7.000	7.000	69.000	69.000	32.000	21.000	130.000	170.000
19.500	15.000	7.000	7.000	8.000	82.000	60.000	36.000	12.000	160.000	145.000

表 2A17 原水-9

気 温	水 温	原水透明度	沉澱水透明度	処理水透明度	原水COD	沉澱水COD	処理水COD	スラッジリム	原水塩化物	処理水塩化物
22.500	16.000	10.000	8.000	14.000	42.000	54.000	22.000	12.000	160.000	135.000
25.000	16.000	5.000	8.000	11.000	65.000	57.000	32.000	9.500	170.000	150.000
12.000	15.500	7.000	7.000	12.000	64.000	60.000	36.000	7.000	205.000	195.000
8.000	9.500	6.000	6.000	10.000	31.000	36.000	19.000	6.000	50.000	45.000
3.000	12.000	7.000	7.000	18.000	44.000	44.000	15.000	8.000	90.000	90.000
20.500	13.500	9.000	7.000	22.000	50.000	46.000	19.000	9.000	115.000	95.000
17.500	14.500	9.000	9.000	14.000	50.000	52.000	25.000	8.000	140.000	165.000
22.500	15.000	9.000	8.000	15.000	49.000	52.000	26.000	6.500	140.000	140.000
20.500	15.500	7.000	7.500	15.000	53.000	54.000	27.000	7.000	160.000	140.000
23.000	16.000	6.500	6.500	11.000	74.000	71.000	33.000	6.000	140.000	140.000
23.000	16.500	8.000	8.500	17.000	54.000	57.000	25.000	10.000	200.000	160.000
16.000	16.500	9.000	8.000	19.000	52.000	53.000	28.000	12.000	150.000	160.000
23.000	16.500	6.500	7.000	10.000	56.000	52.000	28.000	9.500	150.000	150.000

第3章 下水処理場流出入水量水質変動特性の解析

1. 概 論	46
2. データ	53
3. 解析の式	54
4. 調和解析	76
5. 分散スペクトル解析	87
6. クロススペクトル解析	88
7. 考察と総括	91
8. 参考文献	94
9. アペンデックス	95

1. 概 論

河川の水質を所定の基準に保ちえるかどうかは、終末処理場から放流される処理水の量と質とにかかっている。河川の管理体制をたてるに先立ち、現在の都市下水処理場放流水の水質の変動特性を十分調査しておく必要がある。たいていの場合、最大、最小、算術平均、ときには非超過の確率を用いて水質と水量の特性を記録していた。しかしながら、左右が非対象であったり、時間とともに変動する水質や水量の特性の表現はこのような初等統計量だけでは不十分な場合が多い。このことは第2章で詳細に検討した。時間を同時に考慮した解析、すなわち確率過程論的立場からのアプローチが必要である。処理場流出水の水質の変動と時間の経過との関係が一度明らかになると、その変動の原因を追求することが可能になり、その結果、変動が人為的にコントロールできないものであることがわかれば、新たに3次処理のフラントを建設するとか、浄化水を導入するとか必要な手段を講じるための基礎資料ができ上がったことになる。

図(3-4)から図(3-11)にある下水処理場への流出入水量水質の数値を時間に対してプロットしたものを示した。いずれも3月を起点とし、翌年の2月を終点とする。たとえば、図(3-4)において、(水温の変動を示したものである)3月を起点として、小さい変動を伴いながら全体的に増加し、夏に高い値をとったのち低下していく。同図において、夏は常に $+ \sigma$ よりも大きい値に、冬は $- \sigma$ よりも小さい値になっている。

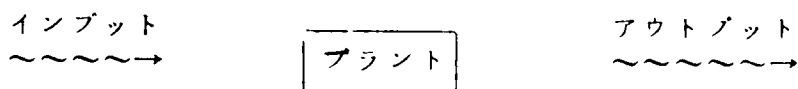
ここに σ は全データにもとずいて計算した標準偏差である。同じデータに基づいてかかれたヒストグラム(図3-13)は正規分布からかたよっている。したがって、すべてのデータに基づいて平均値や分散を計算しても、そのままでは適切なパラメータとはいいがたく、利用価値も低いといわざるをえな

い。

下水処理場に流入する下水は流域に住む人々の生活活動の結果生じたものであるから、その量の変動はまったくランダムであるように思われる。個々の人間や産業の活動が同一ということとはありえないからである。しかしながら、一般的に人間の生活は1日を単位周期として営まれ、季節は1年を1周期として変わるから、ある期間内では下水量の変動に周期性があるとも考えられる。夏期になって気温が上がれば水の使用量がふえるのは規則性の例である。ある量の分布がガウス分布にならなかったとすれば、その原因はこのような規則変動成分によるものであると考えられる。また、長期間ではまったく不規則な現象でも、車の流れとか風の息とかいわれるように、短期間内では規則性をもっている場合が多い。しかしながら、小さい変動を追うと、大きい変動をみのがし、その逆も起こりやすい。したがって、変動の周期、振幅、位相などの解析を系統的に進めなければならない。

ある振動の中にどのような周波数の成分がどの程度の強さで現われているかは、周波数分析や分散スペクトル密度分析で与えられる。

次に、このような変動は、何によって生じたかということに関心がわく。



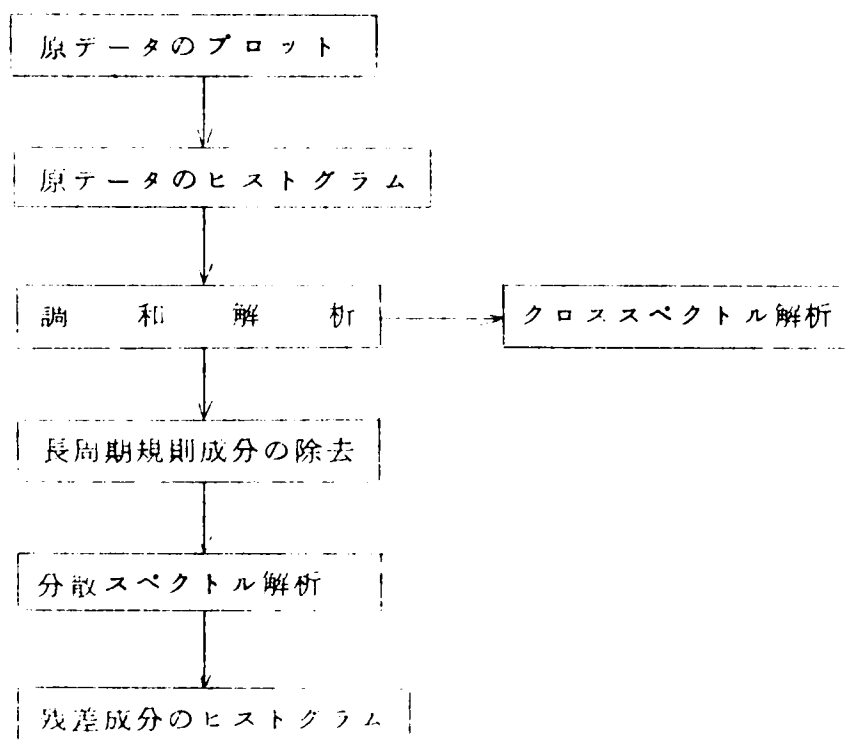
の関係のように、左側から、所定の波形をもったインプットが加わり、右側から別の波形をもったアウトプットが出たとすれば、このプラントはインプットをアウトプットに伝達する機能をもっている。この機能を数式で表わしたものが周波数伝達関数である。エッケンフェルダーらのBOD除去式は、インプットである原水BODを処理水BODに変換する周波数伝達関数を半理論的に示したものであると考えることができる。しかしながら、気温と下

水処理場流入水量というようにアウトプットとインプットとを結びつける

位相が莫然としている場合には、周波数伝達関数の数学モデルを理論的に作成するのは困難である。このようなときインプットとアウトプットとのクロススペクトルを求めると、両者間の経形関係の有無、位相のずれ、周波数伝達関数の数値解を統計的に求めることができるのである。

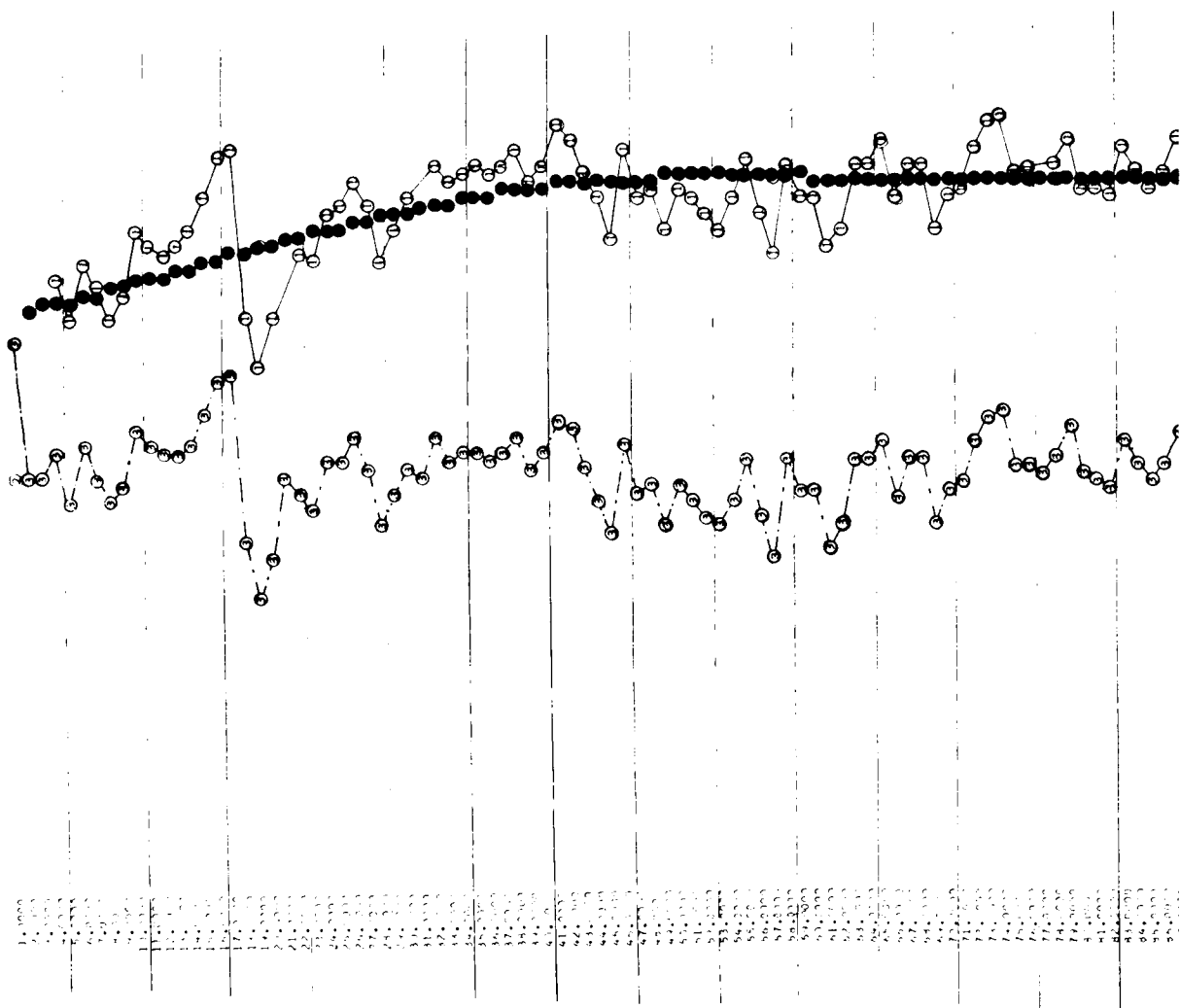
(1) 解析の手順

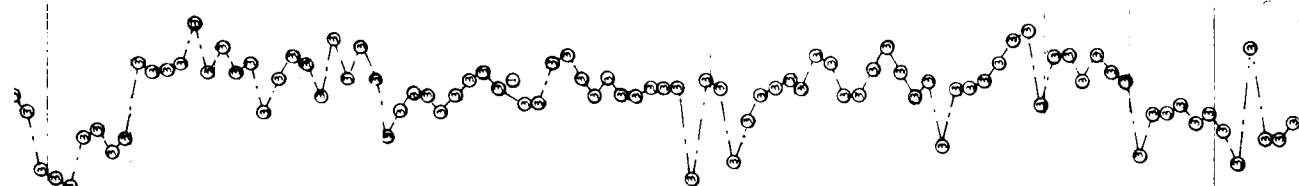
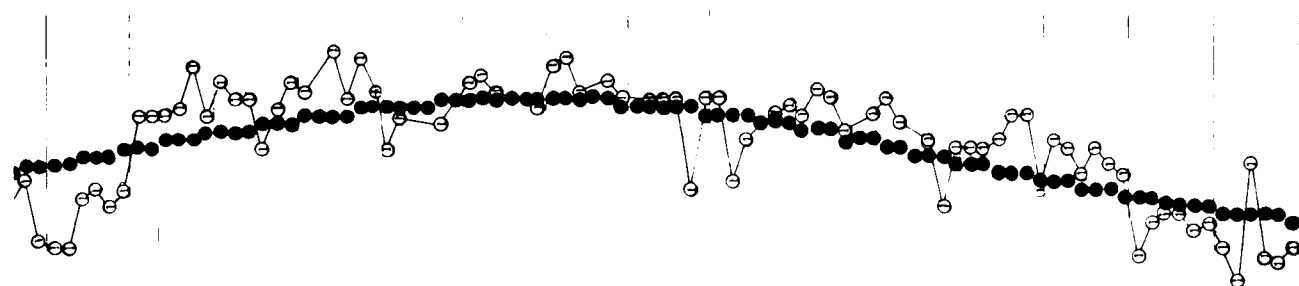
解析の手順はつぎのようになる。



水量水質などの変量の原データのヒストグラムを画いたとき、ポアソン分布や正規分布など特性が既知のの分布形にならない場合、規則変動の存在が疑われるので、その時系列的に計測された変量の変動を調和解析によって各周波数成分に分解する。短周期の変動を調和解析すると結果が不安定になるので、調和解析は長周期の変動の検出にとどめる。つぎにこうして

図 3-1 気温の原変動・規則変動・残差変動





95.555
101.555
107.555
113.555
119.555
125.555
131.555
137.555
143.555
149.555
155.555
161.555
167.555
173.555
179.555
185.555
191.555
197.555
203.555
209.555
215.555
221.555
227.555
233.555
239.555
245.555
251.555
257.555
263.555
269.555
275.555
281.555
287.555
293.555
299.555
305.555
311.555
317.555
323.555
329.555
335.555
341.555
347.555
353.555
359.555
365.555
371.555
377.555
383.555
389.555
395.555
401.555
407.555
413.555
419.555
425.555
431.555
437.555
443.555
449.555
455.555
461.555
467.555
473.555
479.555
485.555
491.555
497.555
503.555
509.555
515.555
521.555
527.555
533.555
539.555
545.555
551.555
557.555
563.555
569.555
575.555
581.555
587.555
593.555
599.555
605.555
611.555
617.555
623.555
629.555
635.555
641.555
647.555
653.555
659.555
665.555
671.555
677.555
683.555
689.555
695.555
701.555
707.555
713.555
719.555
725.555
731.555
737.555
743.555
749.555
755.555
761.555
767.555
773.555
779.555
785.555
791.555
797.555
803.555
809.555
815.555
821.555
827.555
833.555
839.555
845.555
851.555
857.555
863.555
869.555
875.555
881.555
887.555
893.555
899.555
905.555
911.555
917.555
923.555
929.555
935.555
941.555
947.555
953.555
959.555
965.555
971.555
977.555
983.555
989.555
995.555
1001.555
1007.555
1013.555
1019.555
1025.555
1031.555
1037.555
1043.555
1049.555
1055.555
1061.555
1067.555
1073.555
1079.555
1085.555
1091.555
1097.555
1103.555
1109.555
1115.555
1121.555
1127.555
1133.555
1139.555
1145.555
1151.555
1157.555
1163.555
1169.555
1175.555
1181.555
1187.555
1193.555
1199.555
1205.555
1211.555
1217.555
1223.555
1229.555
1235.555
1241.555
1247.555
1253.555
1259.555
1265.555
1271.555
1277.555
1283.555
1289.555
1295.555
1301.555
1307.555
1313.555
1319.555
1325.555
1331.555
1337.555
1343.555
1349.555
1355.555
1361.555
1367.555
1373.555
1379.555
1385.555
1391.555
1397.555
1403.555
1409.555
1415.555
1421.555
1427.555
1433.555
1439.555
1445.555
1451.555
1457.555
1463.555
1469.555
1475.555
1481.555
1487.555
1493.555
1499.555
1505.555
1511.555
1517.555
1523.555
1529.555
1535.555
1541.555
1547.555
1553.555
1559.555
1565.555
1571.555
1577.555
1583.555
1589.555
1595.555
1601.555
1607.555
1613.555
1619.555
1625.555
1631.555
1637.555
1643.555
1649.555
1655.555
1661.555
1667.555
1673.555
1679.555
1685.555
1691.555
1697.555
1703.555
1709.555
1715.555
1721.555
1727.555
1733.555
1739.555
1745.555
1751.555
1757.555
1763.555
1769.555
1775.555
1781.555
1787.555
1793.555
1799.555
1805.555
1811.555
1817.555
1823.555
1829.555
1835.555
1841.555
1847.555
1853.555
1859.555
1865.555
1871.555
1877.555
1883.555
1889.555
1895.555
1901.555
1907.555
1913.555
1919.555
1925.555
1931.555
1937.555
1943.555
1949.555
1955.555
1961.555
1967.555
1973.555
1979.555
1985.555
1991.555
1997.555
2003.555
2009.555
2015.555
2021.555
2027.555
2033.555
2039.555
2045.555
2051.555
2057.555
2063.555
2069.555
2075.555
2081.555
2087.555
2093.555
2099.555
2105.555
2111.555
2117.555
2123.555
2129.555
2135.555
2141.555
2147.555
2153.555
2159.555
2165.555
2171.555
2177.555
2183.555
2189.555
2195.555
2201.555
2207.555
2213.555
2219.555
2225.555
2231.555
2237.555
2243.555
2249.555
2255.555
2261.555
2267.555
2273.555
2279.555
2285.555
2291.555
2297.555
2303.555
2309.555
2315.555
2321.555
2327.555
2333.555
2339.555
2345.555
2351.555
2357.555
2363.555
2369.555
2375.555
2381.555
2387.555
2393.555
2399.555
2405.555
2411.555
2417.555
2423.555
2429.555
2435.555
2441.555
2447.555
2453.555
2459.555
2465.555
2471.555
2477.555
2483.555
2489.555
2495.555
2501.555
2507.555
2513.555
2519.555
2525.555
2531.555
2537.555
2543.555
2549.555
2555.555
2561.555
2567.555
2573.555
2579.555
2585.555
2591.555
2597.555
2603.555
2609.555
2615.555
2621.555
2627.555
2633.555
2639.555
2645.555
2651.555
2657.555
2663.555
2669.555
2675.555
2681.555
2687.555
2693.555
2699.555
2705.555
2711.555
2717.555
2723.555
2729.555
2735.555
2741.555
2747.555
2753.555
2759.555
2765.555
2771.555
2777.555
2783.555
2789.555
2795.555
2801.555
2807.555
2813.555
2819.555
2825.555
2831.555
2837.555
2843.555
2849.555
2855.555
2861.555
2867.555
2873.555
2879.555
2885.555
2891.555
2897.555
2903.555
2909.555
2915.555
2921.555
2927.555
2933.555
2939.555
2945.555
2951.555
2957.555
2963.555
2969.555
2975.555
2981.555
2987.555
2993.555
2999.555
3005.555
3011.555
3017.555
3023.555
3029.555
3035.555
3041.555
3047.555
3053.555
3059.555
3065.555
3071.555
3077.555
3083.555
3089.555
3095.555
3101.555
3107.555
3113.555
3119.555
3125.555
3131.555
3137.555
3143.555
3149.555
3155.555
3161.555
3167.555
3173.555
3179.555
3185.555
3191.555
3197.555
3203.555
3209.555
3215.555
3221.555
3227.555
3233.555
3239.555
3245.555
3251.555
3257.555
3263.555
3269.555
3275.555
3281.555
3287.555
3293.555
3299.555
3305.555
3311.555
3317.555
3323.555
3329.555
3335.555
3341.555
3347.555
3353.555
3359.555
3365.555
3371.555
3377.555
3383.555
3389.555
3395.555
3401.555
3407.555
3413.555
3419.555
3425.555
3431.555
3437.555
3443.555
3449.555
3455.555
3461.555
3467.555
3473.555
3479.555
3485.555
3491.555
3497.555
3503.555
3509.555
3515.555
3521.555
3527.555
3533.555
3539.555
3545.555
3551.555
3557.555
3563.555
3569.555
3575.555
3581.555
3587.555
3593.555
3599.555
3605.555
3611.555
3617.555
3623.555
3629.555
3635.555
3641.555
3647.555
3653.555
3659.555
3665.555
3671.555
3677.555
3683.555
3689.555
3695.555
3701.555
3707.555
3713.555
3719.555
3725.555
3731.555
3737.555
3743.555
3749.555
3755.555
3761.555
3767.555
3773.555
3779.555
3785.555
3791.555
3797.555
3803.555
3809.555
3815.555
3821.555
3827.555
3833.555
3839.555
3845.555
3851.555
3857.555
3863.555
3869.555
3875.555
3881.555
3887.555
3893.555
3899.555
3905.555
3911.555
3917.555
3923.555
3929.555
3935.555
3941.555
3947.555
3953.555
3959.555
3965.555
3971.555
3977.555
3983.555
3989.555
3995.555
4001.555
4007.555
4013.555
4019.555
4025.555
4031.555
4037.555
4043.555
4049.555
4055.555
4061.555
4067.555
4073.555
4079.555
4085.555
4091.555
4097.555
4103.555
4109.555
4115.555
4121.555
4127.555
4133.555
4139.555
4145.555
4151.555
4157.555
4163.555
4169.555
4175.555
4181.555
4187.555
4193.555
4199.555
4205.555
4211.555
4217.555
4223.555
4229.555
4235.555
4241.555
4247.555
4253.555
4259.555
4265.555
4271.555
4277.555
4283.555
4289.555
4295.555
4301.555
4307.555
4313.555
4319.555
4325.555
4331.555
4337.555
4343.555
4349.555
4355.555
4361.555
4367.555
4373.555
4379.555
4385.555
4391.555
4397.555
4403.555
4409.555
4415.555
4421.555
4427.555
4433.555
4439.555
4445.555
4451.555
4457.555
4463.555
4469.555
4475.555
4481.555
4487.555
4493.555
4499.555
4505.555
4511.555
4517.555
4523.555
4529.555
4535.555
4541.555
4547.555
4553.555
4559.555
4565.555
4571.555
4577.555
4583.555
4589.555
4595.555
4601.555
4607.555
4613.555
4619.555
4625.555
4631.555
4637.555
4643.555
4649.555
4655.555
4661.555
4667.555
4673.555
4679.555
4685.555
4691.555
4697.555
4703.555
4709.555
4715.555
4721.555
4727.555
4733.555
4739.555
4745.555
4751.555
4757.555
4763.555
4769.555
4775.555
4781.555
4787.555
4793.555
4799.555
4805.555
4811.555
4817.555
4823.555
4829.555
4835.555
4841.555
4847.555
4853.555
4859.555
4865.555
4871.555
4877.555
4883.555
4889.555
4895.555
4901.555
4907.555
4913.555
4919.555
4925.555
4931.555
4937.555
4943.555
4949.555
4955.555
4961.555
4967.555
4973.555
4979.555
4985.555
4991.555
4997.555
5003.555
5009.555
5015.555
5021.555
5027.555
5033.555
5039.555
5045.555
5051.555
5057.555
5063.555
5069.555
5075.555
5081.555
5087.555
5093.555
5099.555
5105.555
5111.555
5117.555
5123.555
5129.555
5135.555
5141.555
5147.555
5153.555
5159.555
5165.555
5171.555
5177.555
5183.555
5189.555
5195.555
5201.555
5207.555
5213.555
5219.555
5225.555
5231.555
5237.555
5243.555
5249.555
5255.555
5261.555
5267.555
5273.555
5279.555
5285.555
5291.555
5297.555
5303.555
5309.555
5315.555
5321.555
5327.555
5333.555
5339.555
5345.555
5351.555
5357.555
5363.555
5369.555
5375.555
5381.555
5387.555
5393.555
5399.555
5405.555
5411.555
5417.555
5423.555
5429.555
5435.555
5441.555
5447.555
5453.555
5459.555
5465.555
5471.555
5477.555
5483.555
5489.555
5495.555
5501.555
5507.555
5513.555
5519.555
5525.555
5531.555
5537.555
5543.555
5549.555
5555.555
5561.555
5567.555
5573.555
5579.555
5585.555
5591.555
5597.555
5603.555
5609.555
5615.555
5621.555
5627.555
5633.555
5639.555
5645.555
5651.555
5657.555
5663.555
5669.555
5675.555
5681.555
5687.555
5693.555
5699.555
5705.555
5711.555
5717.555
5723.555
5729.555
5735.555
5741.555
5747.555
5753.555
5759.555
5765.555
5771.555
5777.555
5783.555
5789.555
5795.555
5801.555
5807.555
5813.555
5819.555
5825.555
5831.555
5837.555
5843.555
5849.555
5855.555
5861.555
5867.555
5873.555
5879.555
5885.555
5891.555
5897.555
5903.555
5909.555
5915.555
5921.555
5927.555
5933.555
5939.555
5945.555
5951.555
5957.555
5963.555
5969.555
5975.555
5981.555
5987.555
5993.555
5999.555
6005.555
6011.555
6017.555
6023.555
6029.555
6035.555
6041.555
6047.555
6053.555
6059.555
6065.555
6071.555
6077.555
6083.555
6089.555
6095.555
6101.555
6107.555
6113.555
6119.555
6125.555
6131.555
6137.555
6143.555
6149.555
6155.555
6161.555
6167.555
6173.555
6179.555
6185.555
6191.555
6197.555
6203.555
6209.555
6215.555
6221.555
6227.555
6233.555
6239.555
6245.555
6251.555
6257.555
6263.555
6269.555
6275.555
6281.555
6287.555
6293.555
6299.555
6305.555
6311.555
6317.555
6323.555
6329.555
6335.555
6341.555
6347.555
6353.555
6359.555
6365.555
6371.555
6377.555
6383.555
6389.555
6395.555
6401.555
6407.555
6413.555
6419.555
6425.555
6431.555
6437.555
6443.555
6449.555
6455.555
6461.555
6467.555
6473.555
6479.555
6485.555
6491.555
6497.555
6503.555
6509.555
6515.555
6521.555
6527.555
6533.555
6539.555
6545.555
6551.555
6557.555
6563.555
6569.555
6575.555
6581.555
6587.555
6593.555
6599.555
6605.555
6611.555
6617.555
6623.555
6629.555
6635.555
6641.555
6647.555
6653.555
6659.555
6665.555
6671.555
6677.555
6683.555
6689.555
6695.555
6701.555
6707.555
6713.555
6719.555
6725.555
6731.555
6737.555
6743.555
6749.555
6755.555
6761.555
6767.555
6773.555
6779.555
6785.555
6791.555
6797.555
6803.555
6809.555
6815.555
6821.555
6827.555
6833.555
6839.555
6845.555
6851.555
6857.555
6863.555
6869.555
6875.555
6881.555
6887.555
6893.555
6899.555
6905.555
6911.555
6917.555
6923.555
6929.555
6935.555
6941.555
6947.555
6953.555
6959.555
6965.555
6971.555
6977.555
6983.555
6989.555
6995.555
7001.555
7007.555
7013.555
7019.555
7025.555
7031.555
7037.555
7043.555
7049.555
7055.555
7061.555
7067.555
7073.555
7079.555
7085.555
7091.555
7097.555
7103.555
7109.555
7115.555
7121.555
7127.555
7133.555
7139.555
7145.555
7151.555
7157.555
7163.555
7169.555
7175.555
7181.555
7187.555
7193.555
7199.555
7205.555
7211.555
7217.555
7223.555
7229.555
7235.555
7241.555
7247.555
7253.555
7259.555
7265.555
7271.555
7277.555
7283.555
7289.555
7295.555
7301.555
7307.555
7313.555
7319.555
7325.555
7331.555
7337.555
7343.555
7349.555
7355.555
7361.555
7367.555
7373.555
7379.555
7385.555
7391.555
7397.555
7403.555
7409.555
7415.555
7421.555
7427.555
7433.555
7439.555
7445.555
7451.555
7457.555
7463.555
7469.555

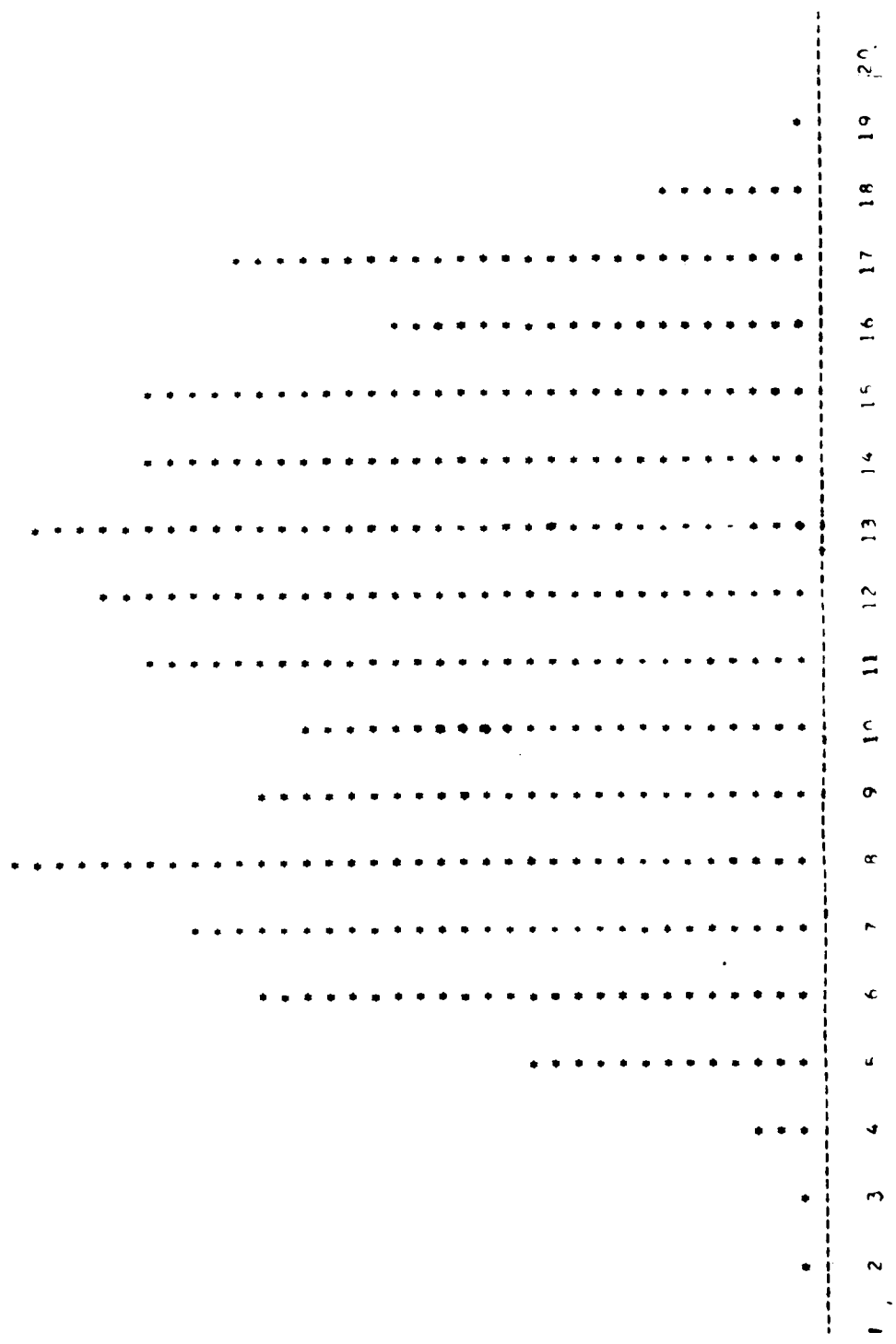


図 3-2 気温のヒストグラム

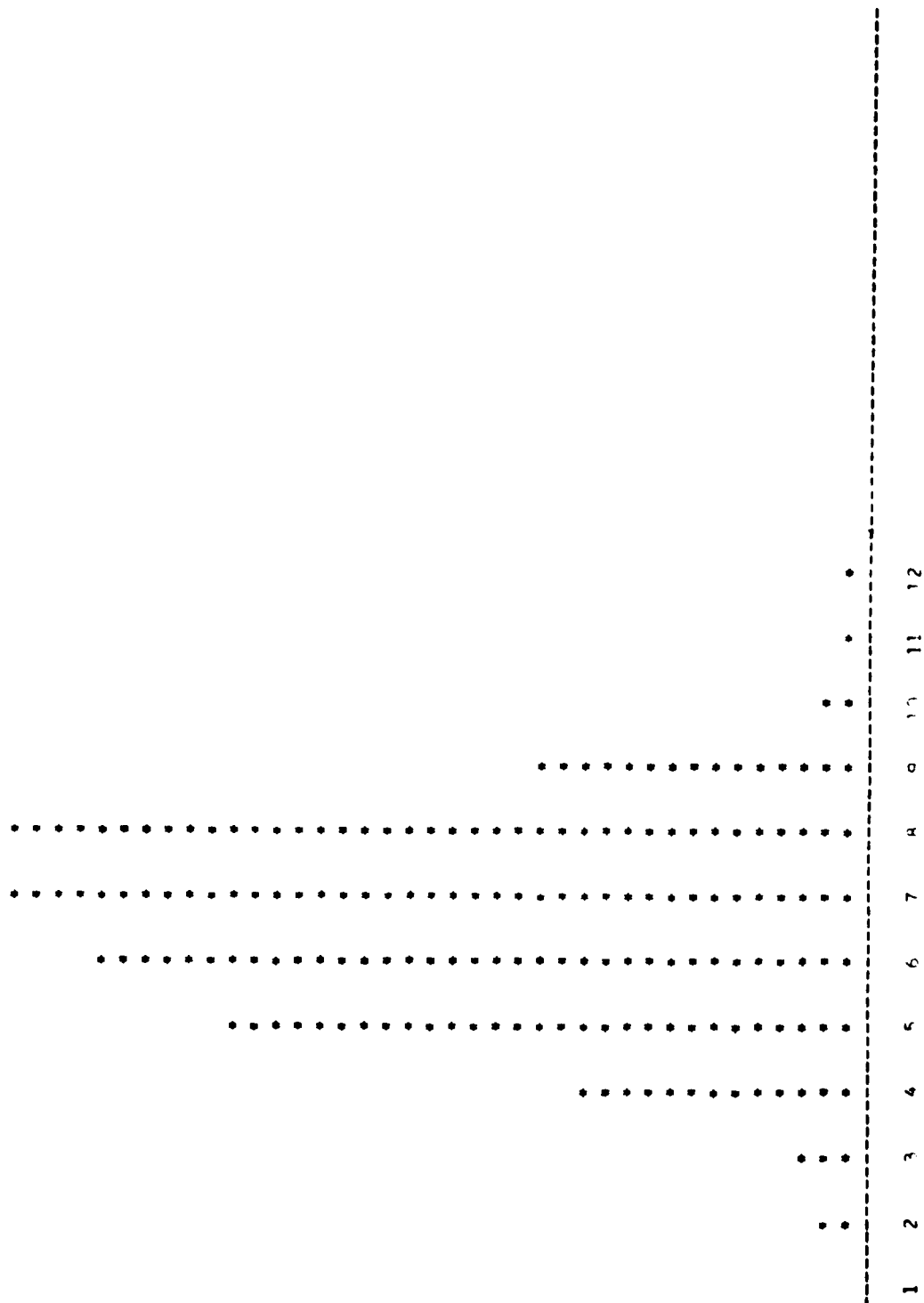


図 3-3 規則成分除去した残差・気温のヒストグラム

えられた長周期規則成分を原変動から除去すると、あとに短周期変動成分が残る。これを分散スペクトル解析でさらに変動を検出する。このようにして検出されたすべての変動を原変動から除去し、残差のヒストグラムを画く。これが正規分布すれば、残差はホワイトノイズであるから、規則変動は完全に除去されたわけであり、原データが不整形な分布をしたのは、規則変動に起因していたことがわかる。

図(3-1)において実線は気温の実測値のプロットを示す。点線は調和解析と分散スペクトル解析によって検出された規則変動を再プロットしたものである。一点鎖線は原データから規則成分を引いた残差をプロットしたものである。実線に対応する原データのヒストグラムを図(3-2)に示した。かなり不整形の分布をしている。図(3-3)は残差(鎖線)のプロットである。完全に規則成分を除去すると残差は正規分布することがわかる。原データが不整形^な分布をしたのはこのような規則成分に原因したと結論づけられる。

調和解析の方法を3節で検討する。

2. データ

一日の処理下水量が平均40万トンという大下水処理場において、測定されたつぎの各項目、すなわち、気温、水温、流入水量、原水COD、沈殿水COD、生物処理水COD、原水浮遊物、沈殿水透視度、生物処理水透視度、が本章の解析の対象である。いずれも12ヶ月にわたり1ヶ月に1回、24時間にわたり2時間間隔で計測した。したがって一組は144個のデータ数で構成されている。採水能力も分析能力もともに十分ではなかったため、上述のような計測間隔にせざるをえず、このような水質指標をえらばざるをえなかった。全データはアペンデックス表3A1・1～3A1・4に示した。

(2) 原データのプロットとヒストグラム

原データの プロットしたものを図 (3 - 4) ~ (3 - 11) に、分布形をヒストグラムにしたのを図 (3 - 13) ~ (3 - 20) に示した。図 (3 - 13 b) ~ (3 - 20 b) はあとで述べるが、長周期の規則成分を除去したあとの残差のヒストグラムである。

3. 解析の数式

(1) 調和解析

変量の規則性成分の位相角、振幅、全変動に対する比率などを周波数解析によって求める。この方法はフーリエ解析などの名称で多くの教科書に記載されているので、ここでは一定の間隔で測定された離散型データを電子計算機で処理する場合に便利な数式をあげるにとどめる。

変量の測定値 $x(t)$ は、次のように三角関数の合成したもので完全に記述できる。

$$x(t) = \bar{x} + \sum_{i=1}^N C_i \cos(\omega t - \theta_i) \dots\dots\dots 3-1$$

\bar{x} : $x(t)$ の算術平均

C_i : i 番目の調和波の振幅

θ_i : i 番目の調和波の位相角

N : データの数

ω : 角周波数 = $2\pi / T$

T : 周期

t : 時間

$x(t)$: 水質指標の測定値

図 3-4 原水温度の測定値のプロット

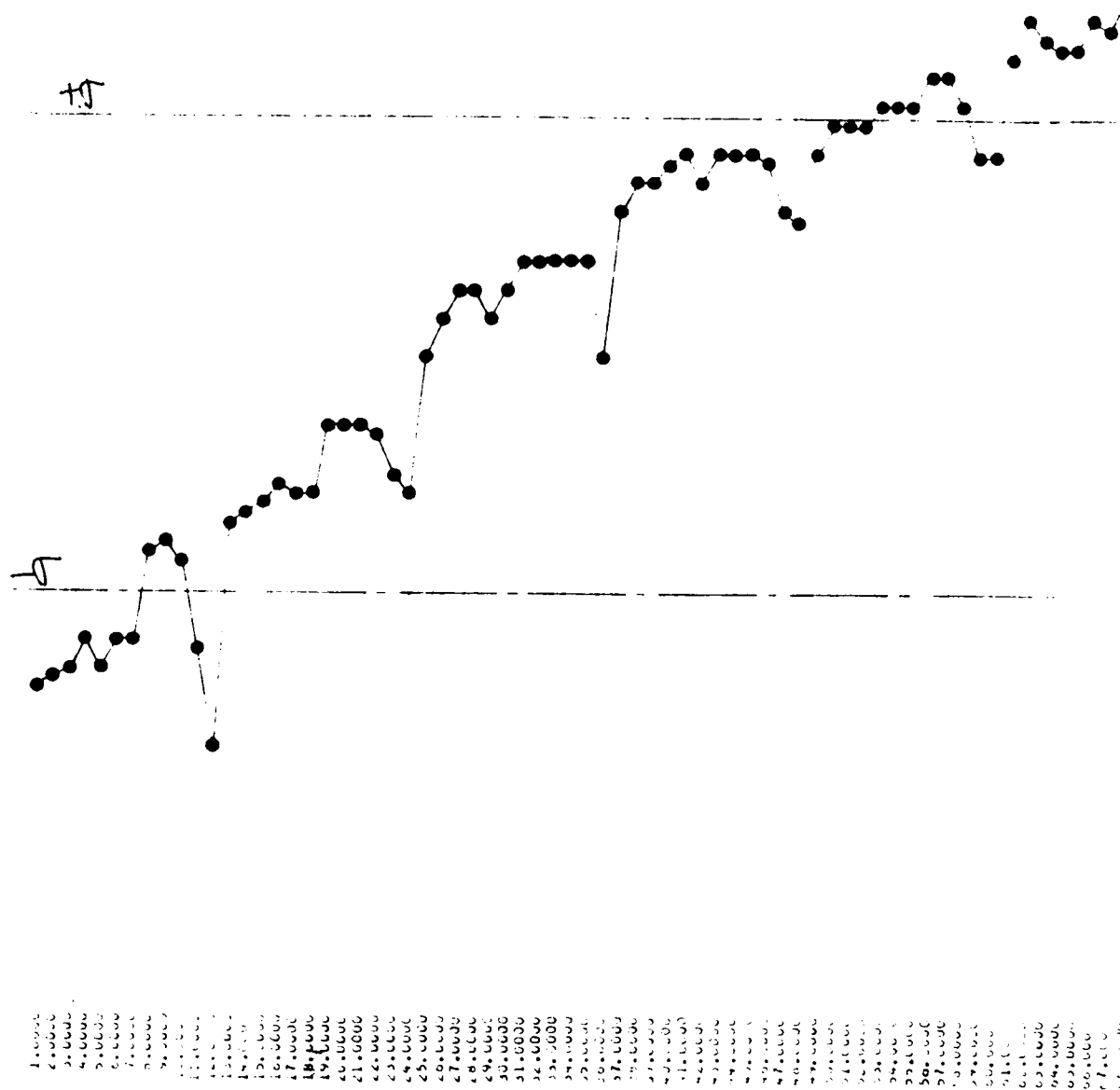
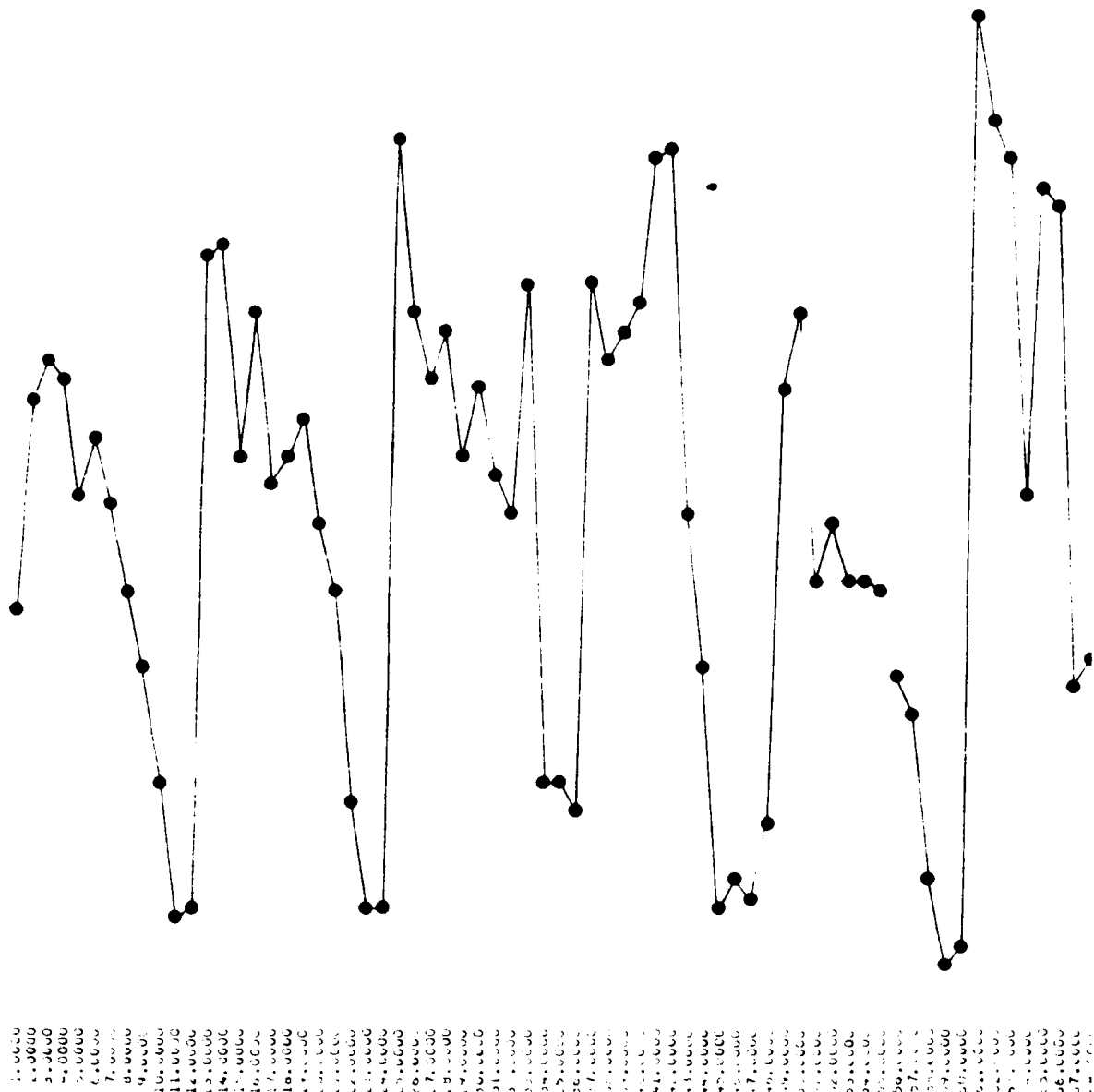
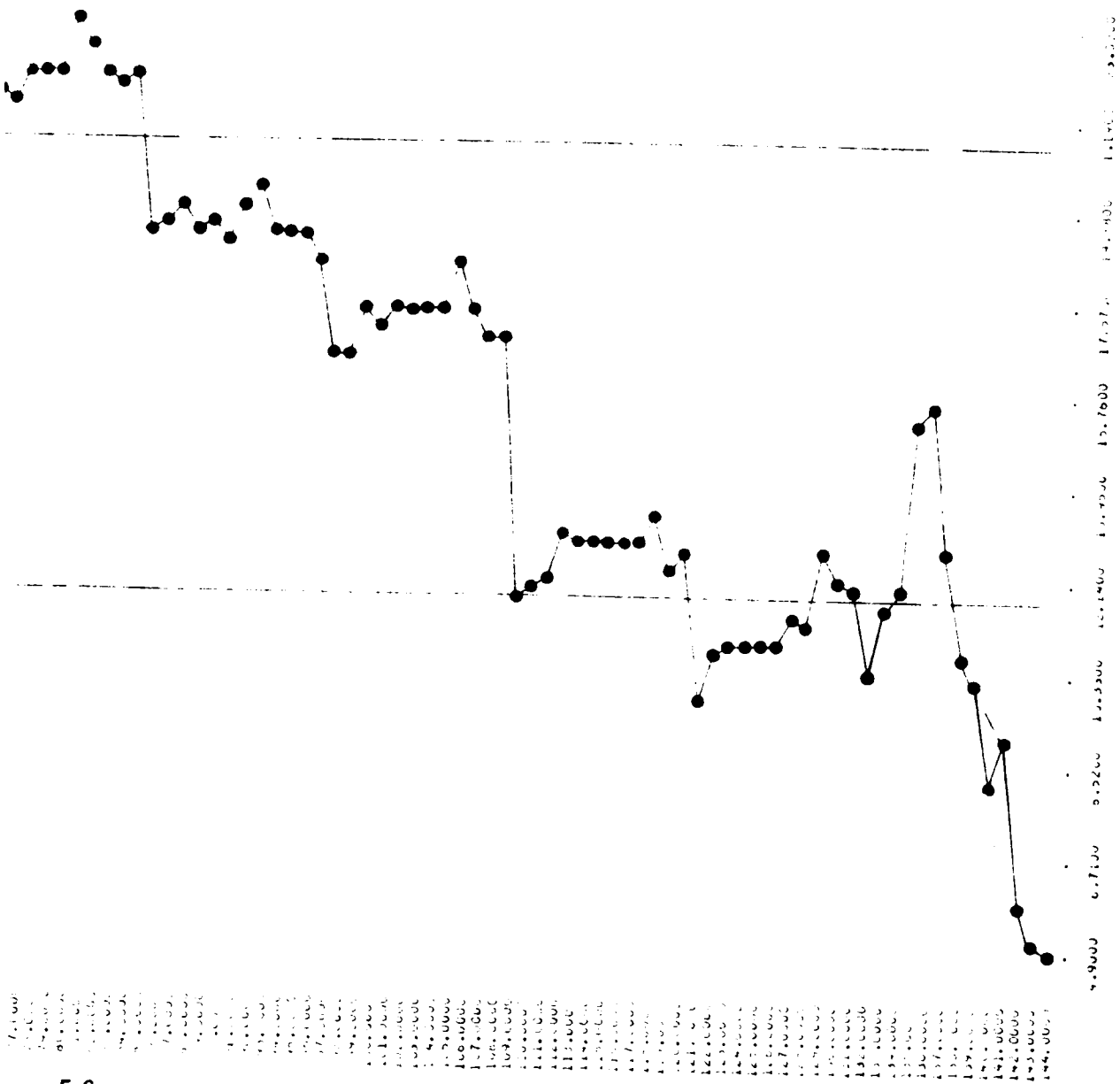


図 3-5 原水CODの測定値のプロット





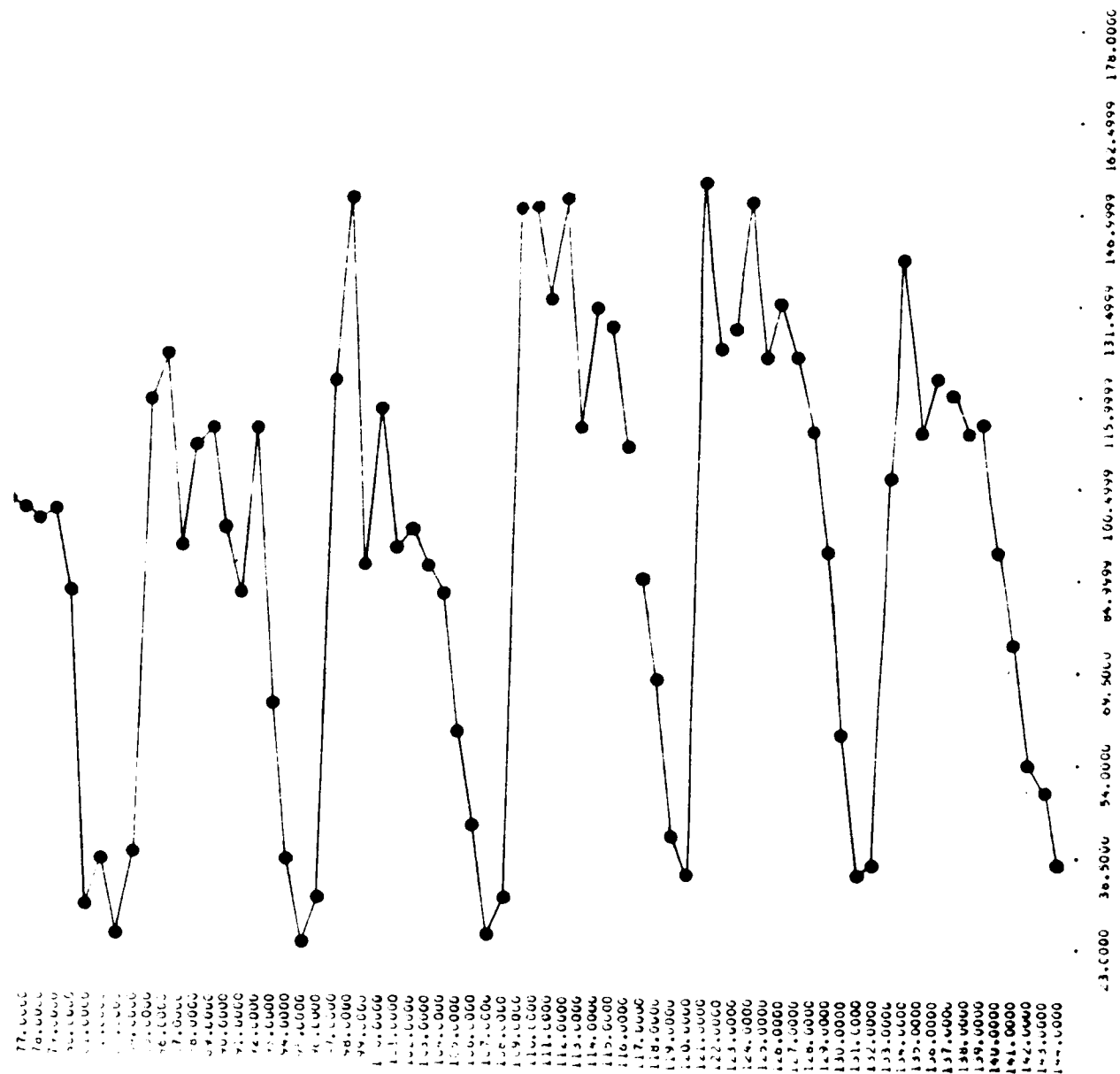
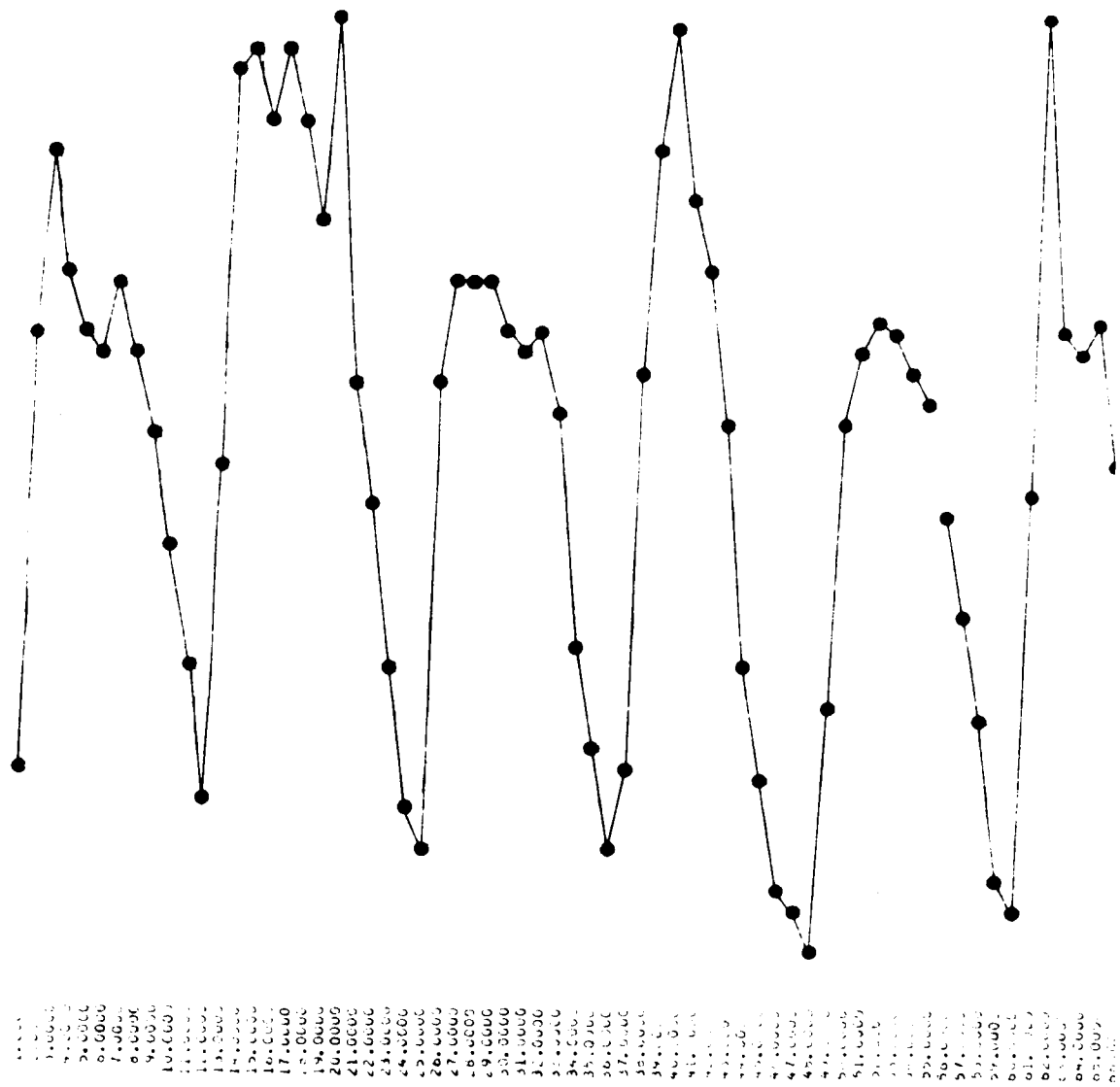


図 3-6 沈澱水CODの測定値のプロット



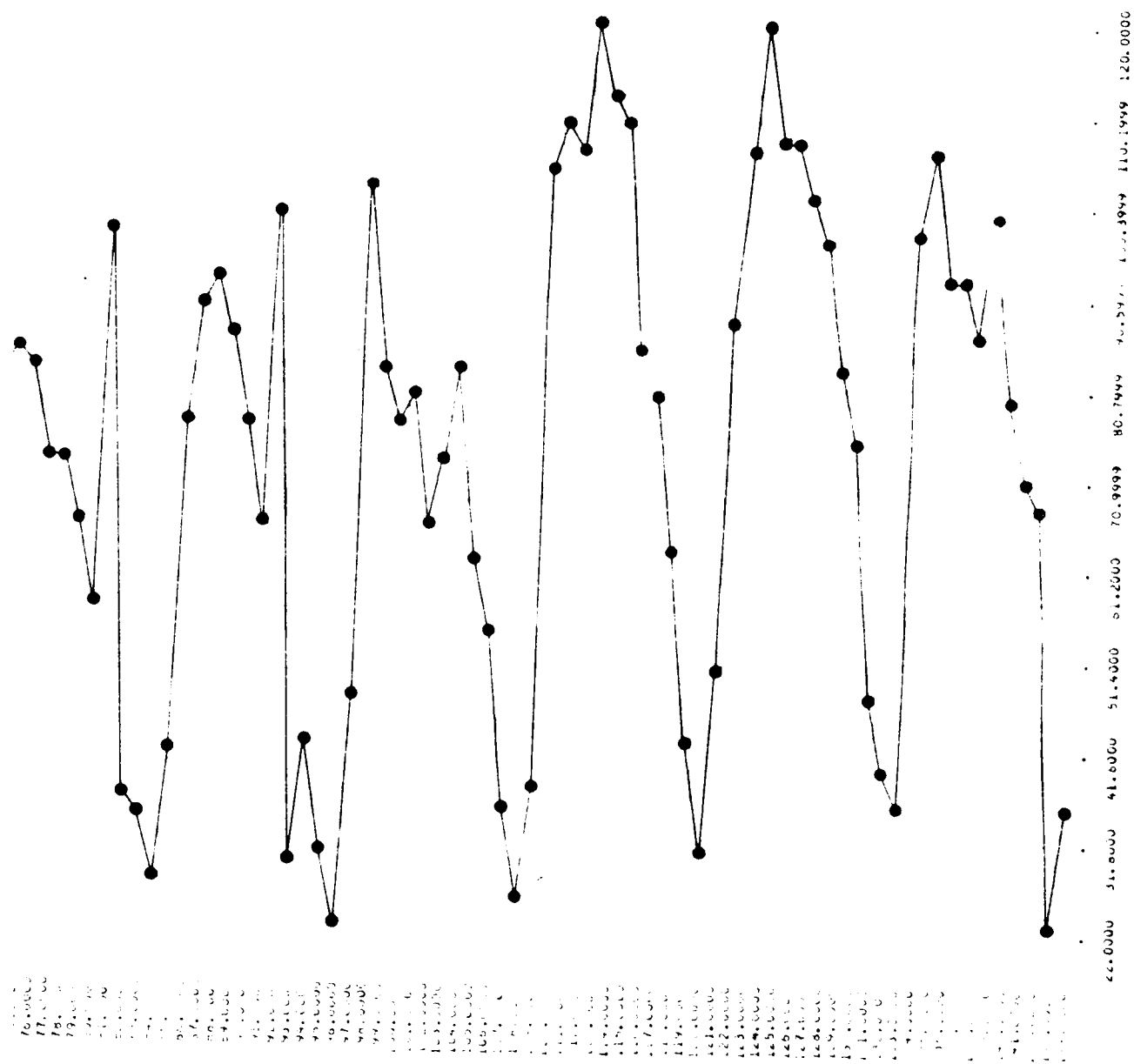
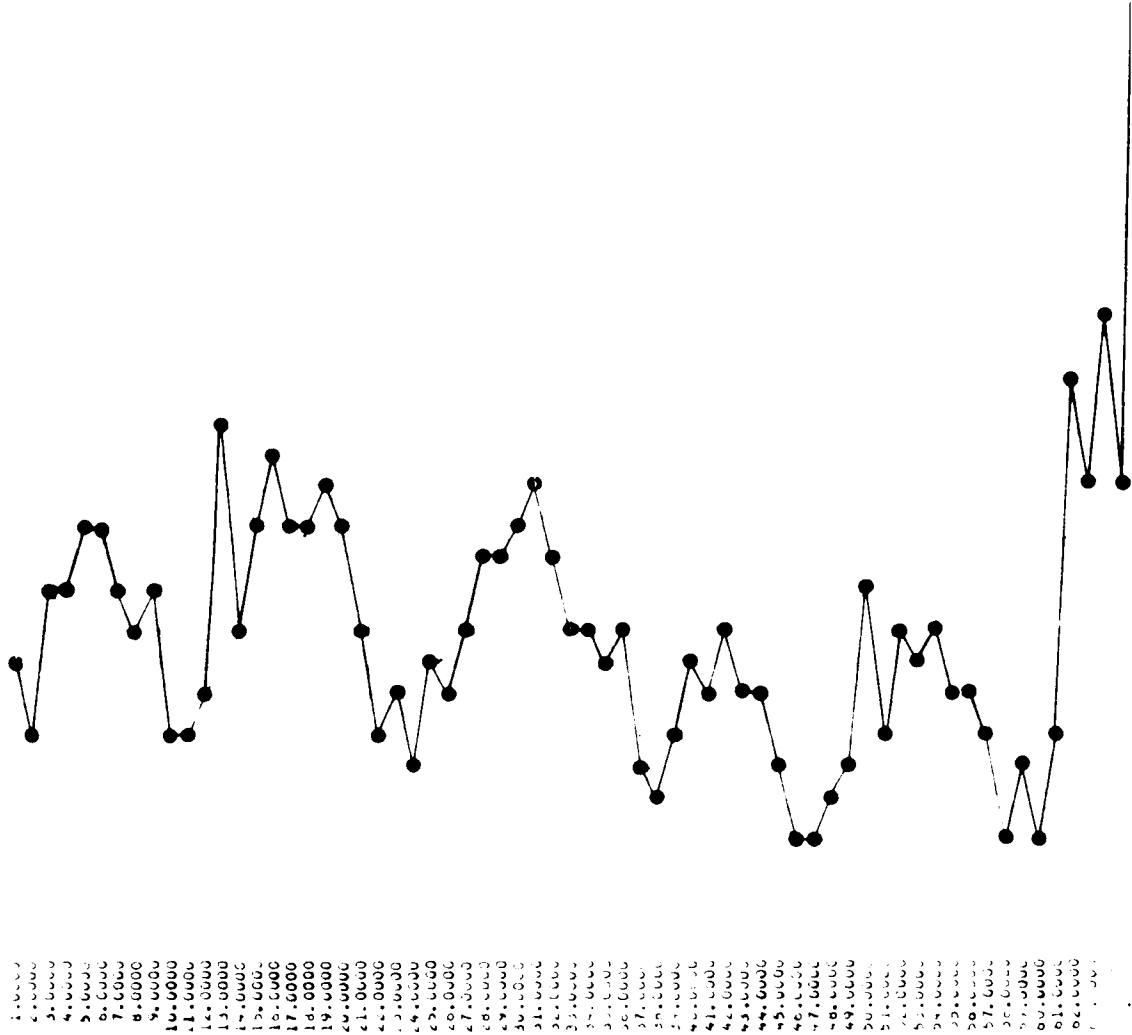


図 3-7 処理水CODの測定値のプロット



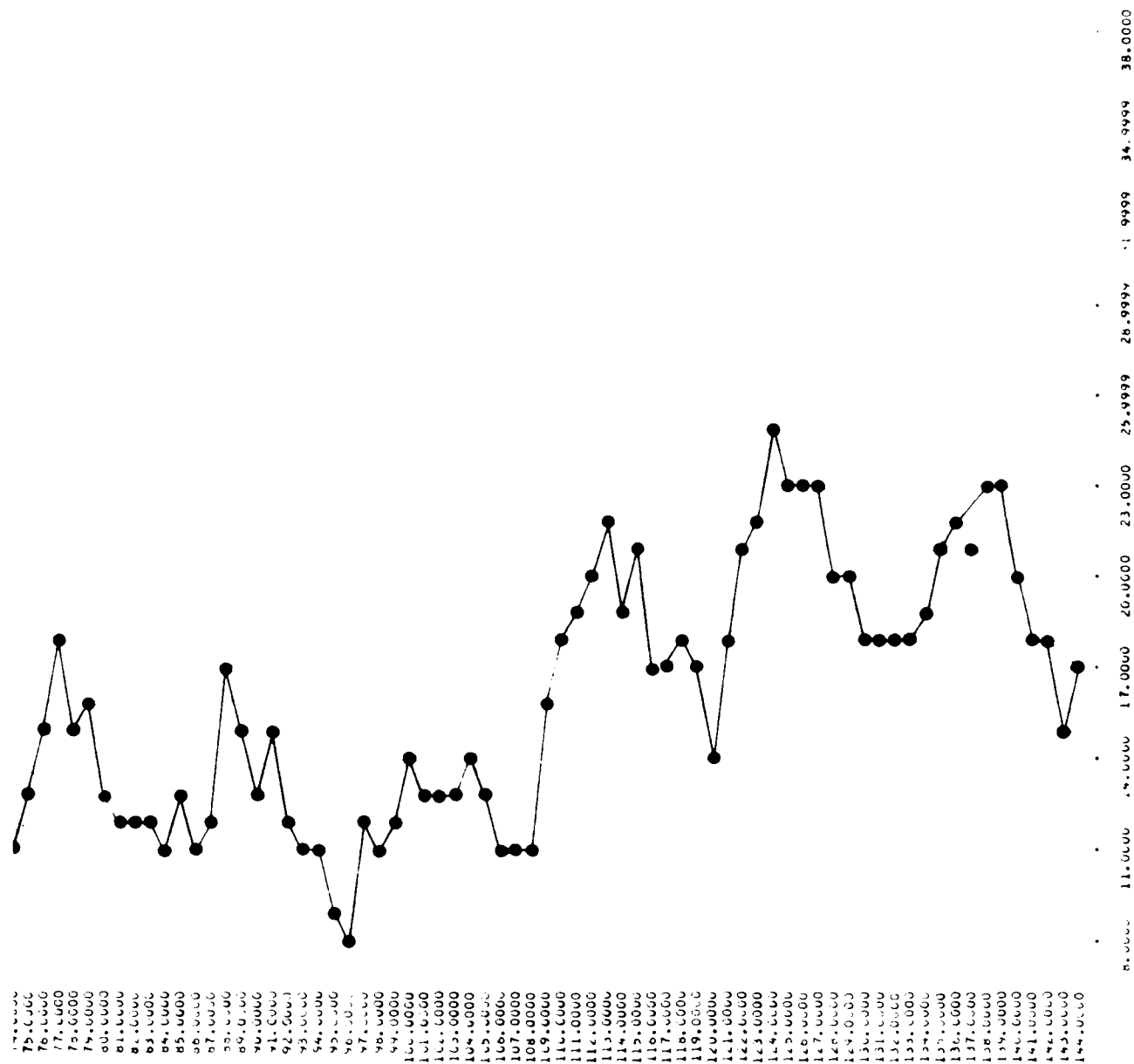
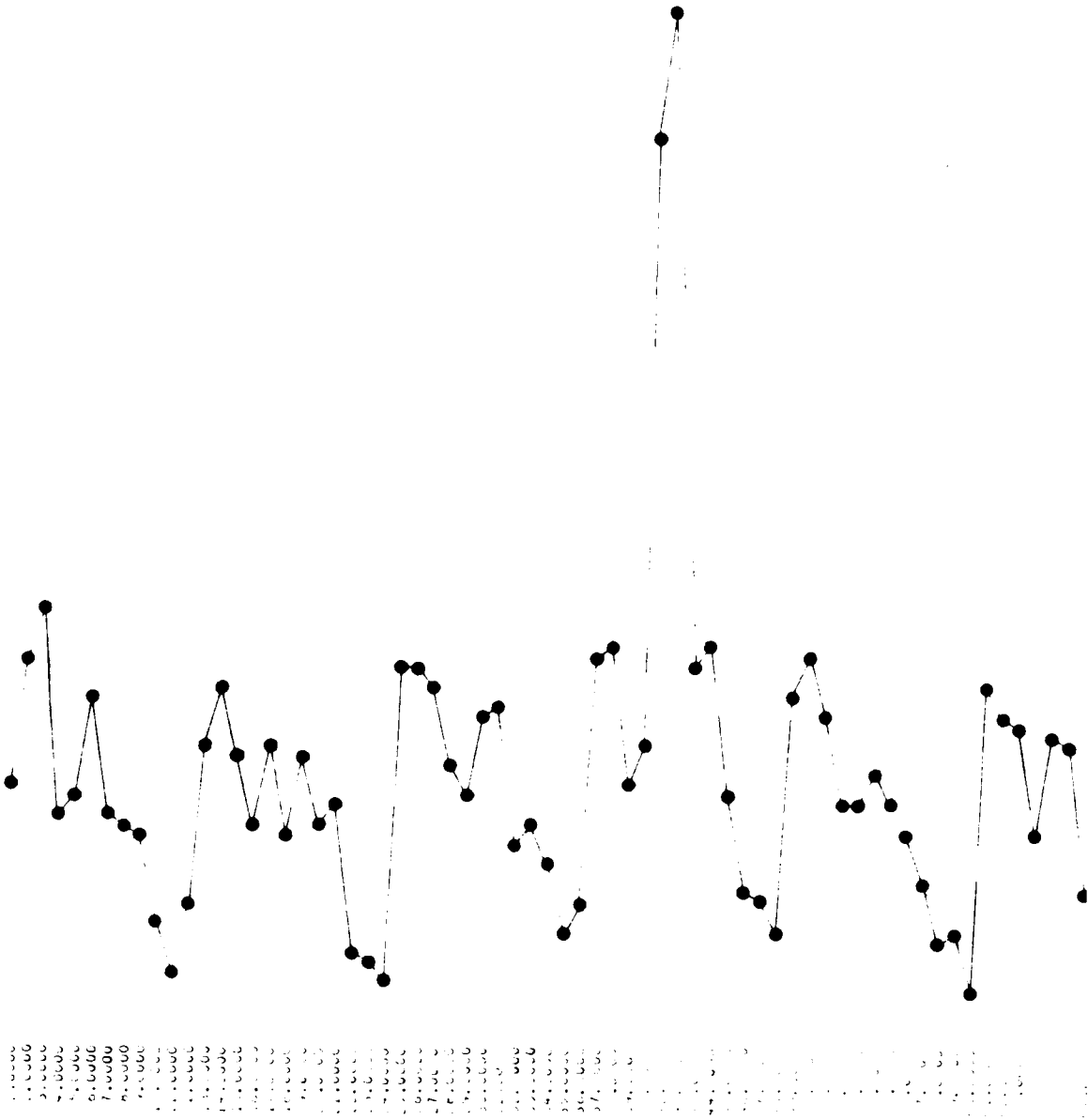
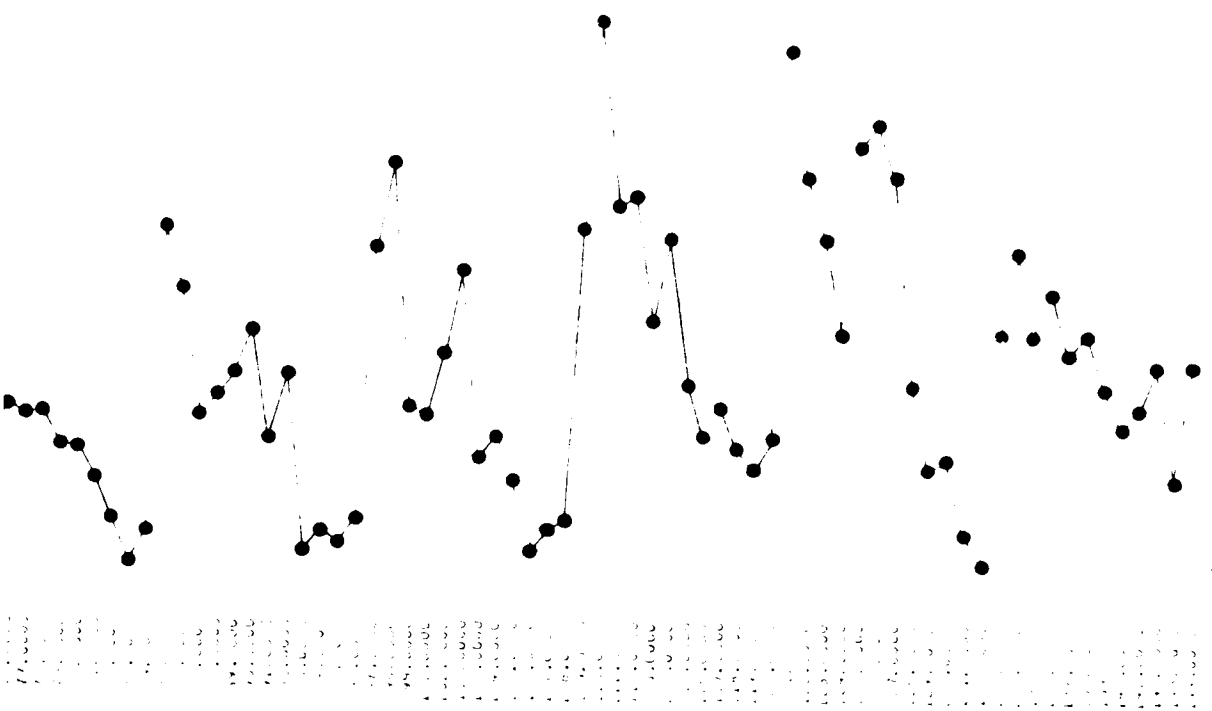


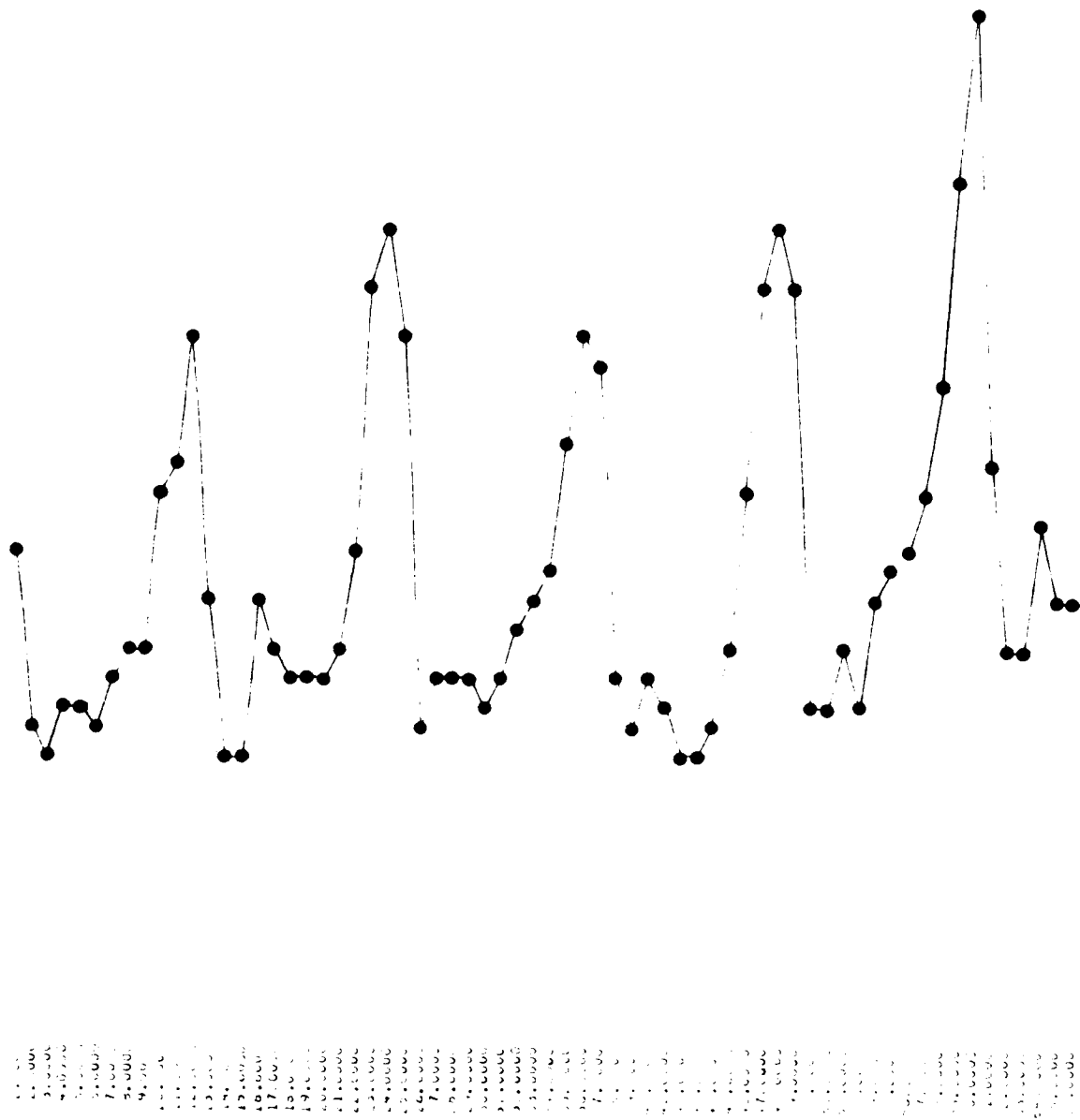
図 3-8 原水浮遊物CODの測定値のプロット





100 90 80 70 60 50 40 30 20 10 0

図 3-9 沈澱水透視度 C O D の測定値のプロット



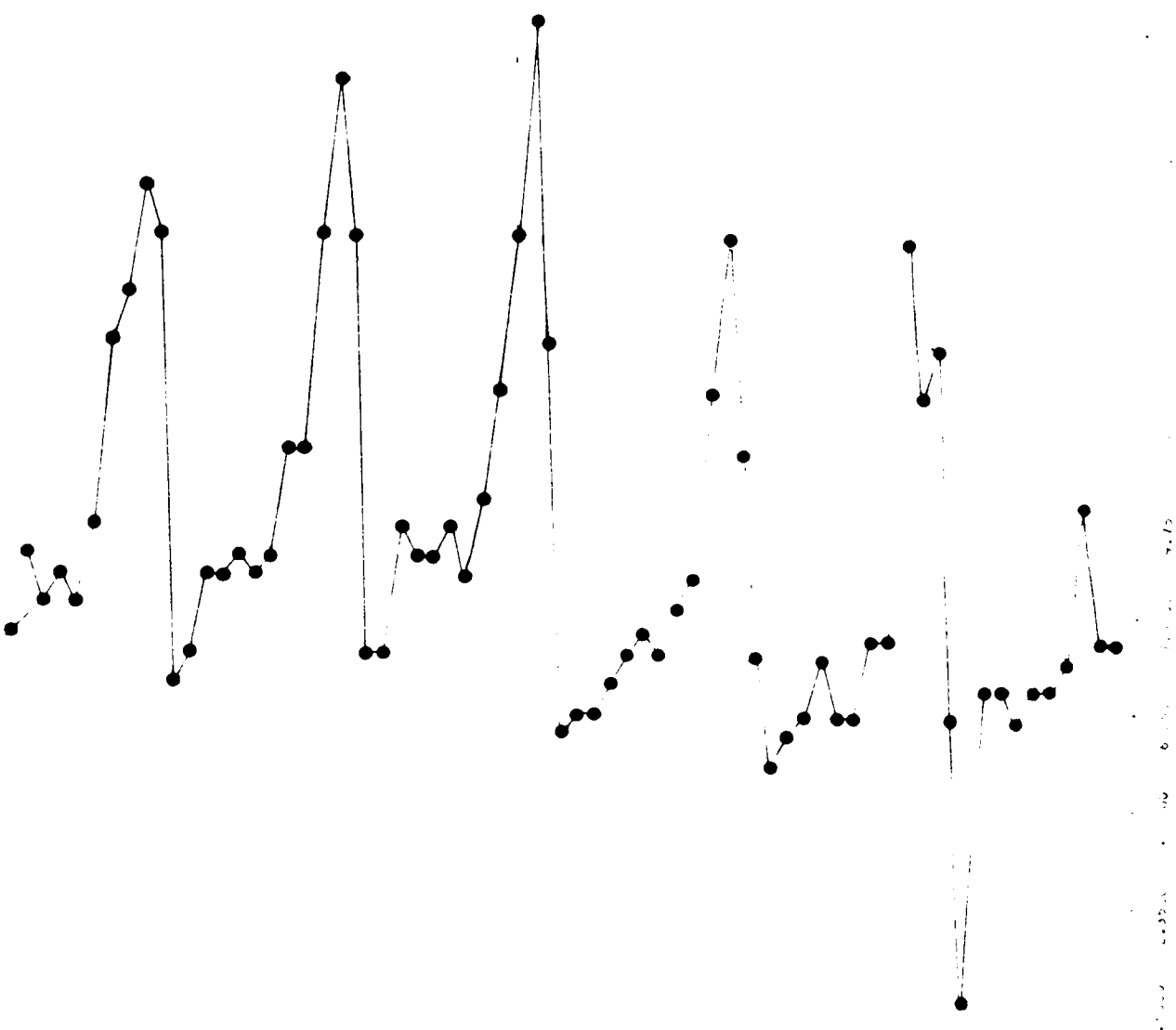
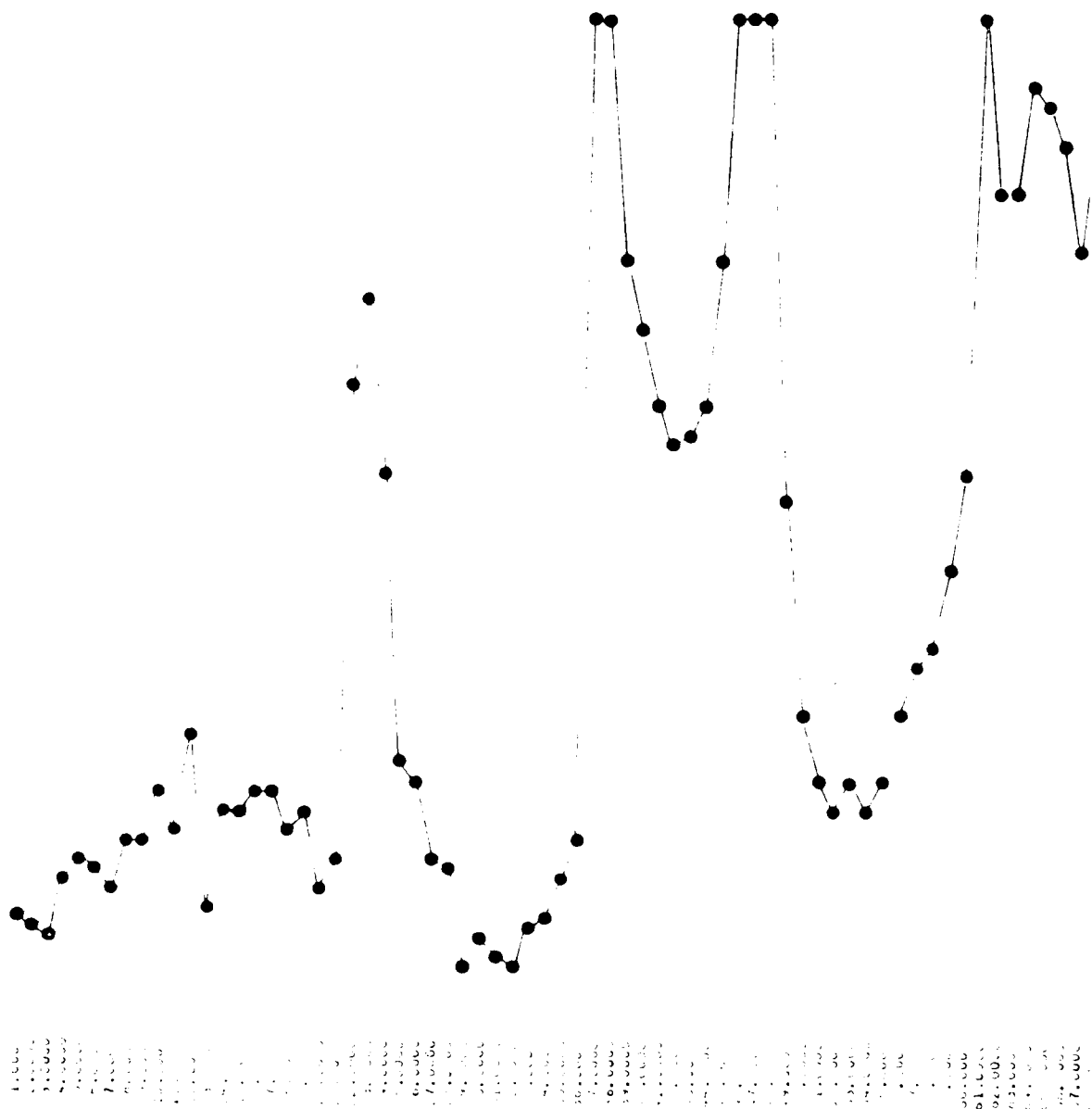


図3-10 処理水透視度CODの測定値のプロット



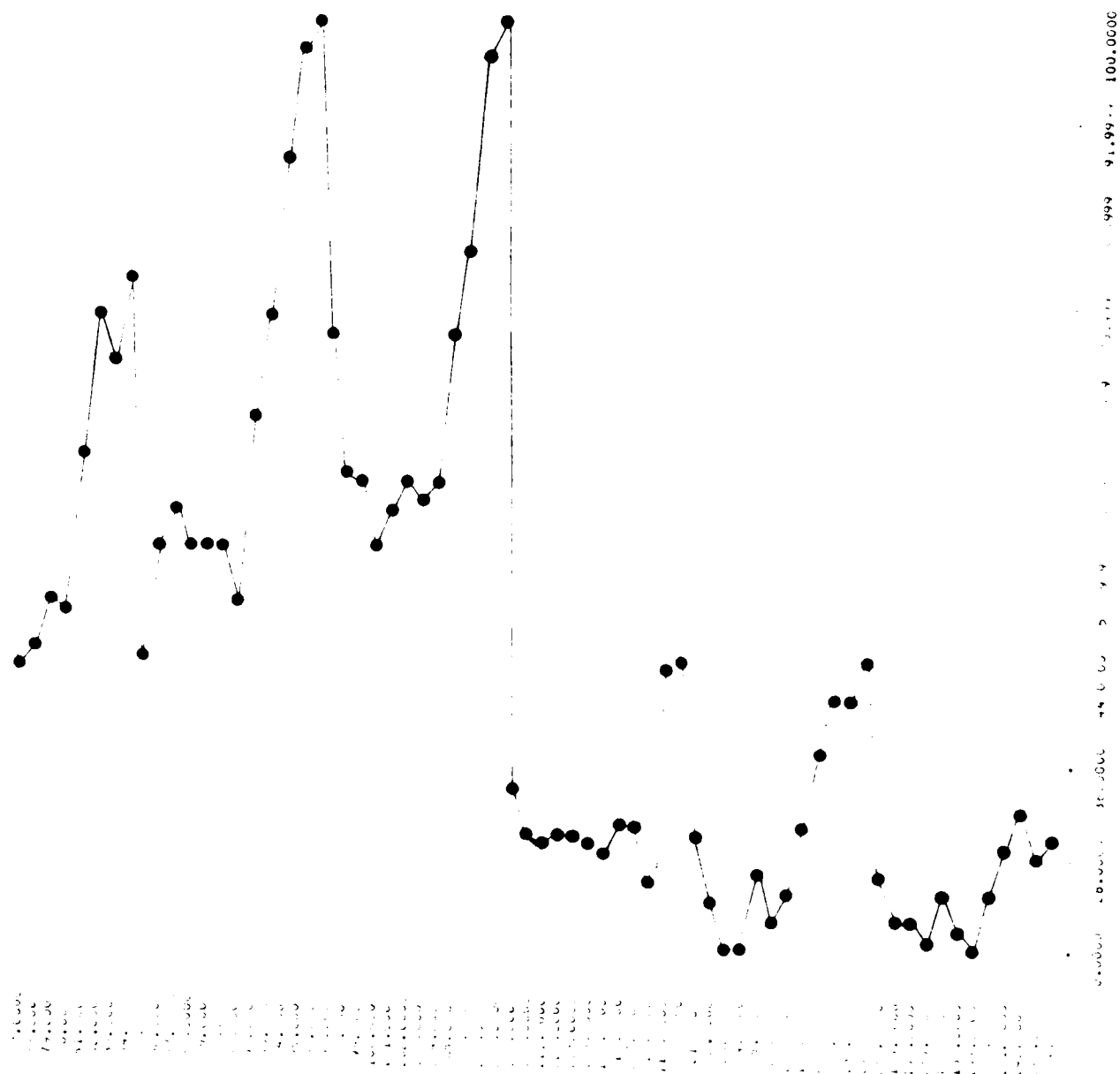
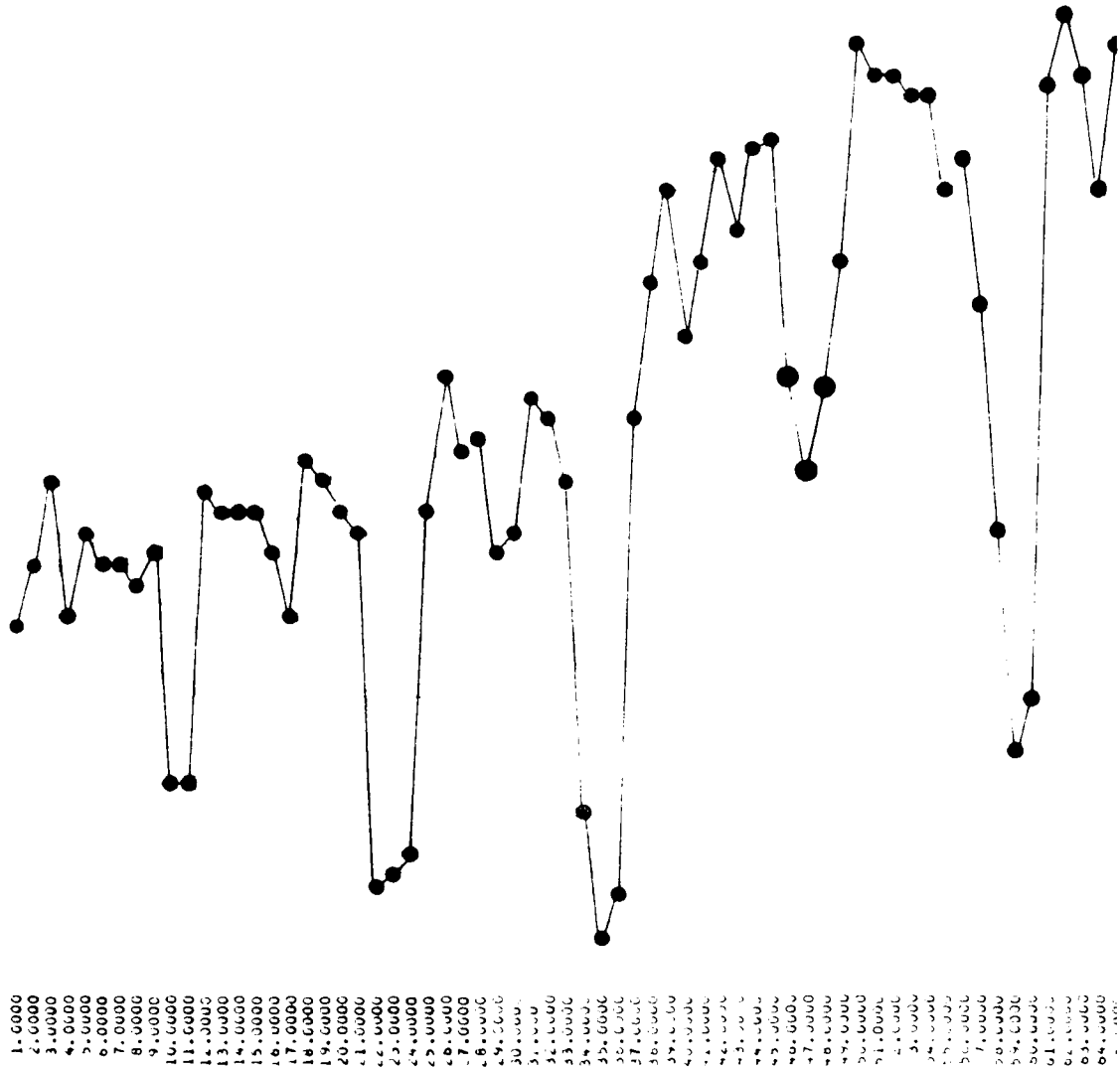
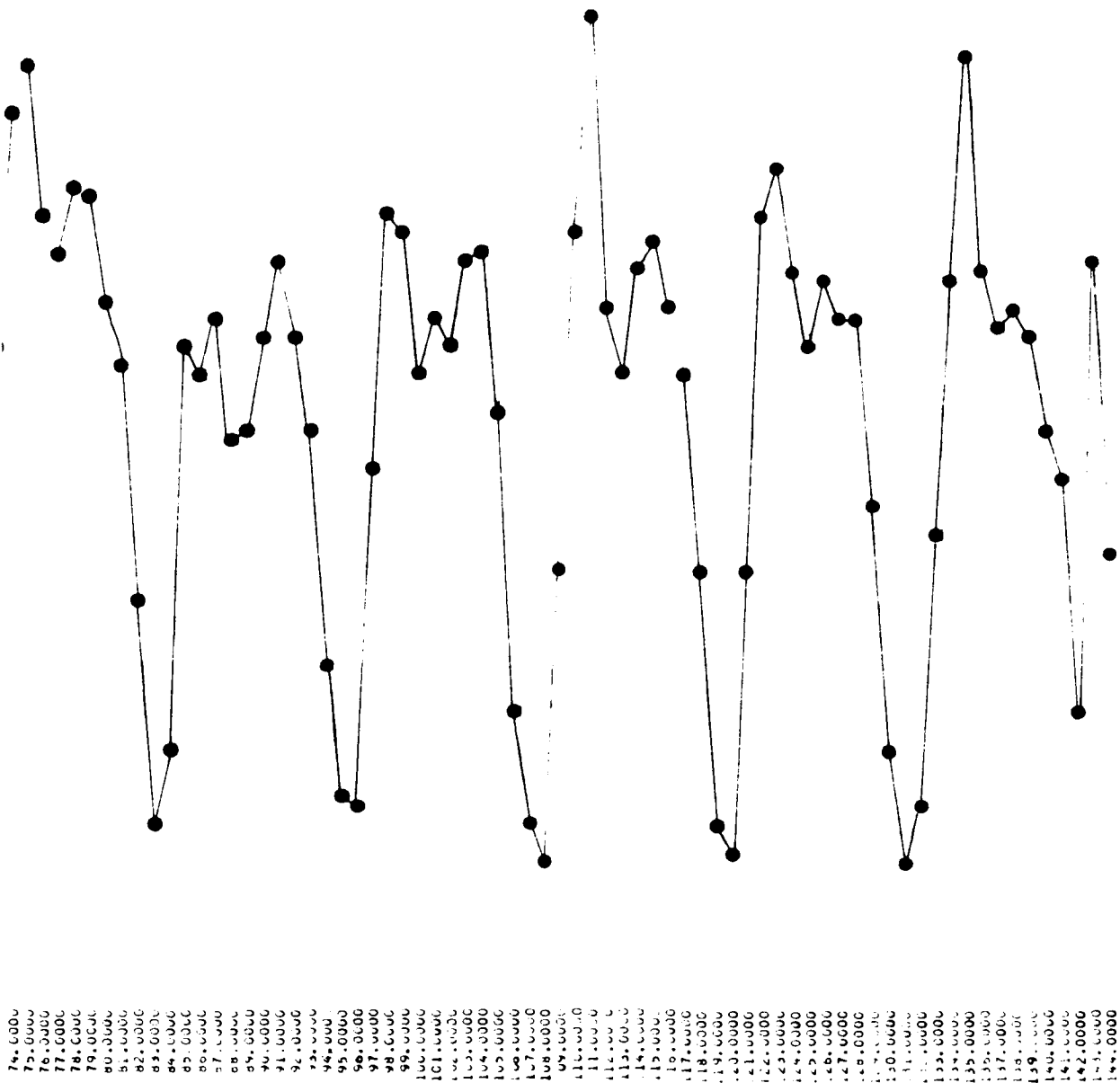


図3-11 流量CODの測定値のプロット





74.0000 75.0000 76.0000 77.0000 78.0000 79.0000 80.0000 81.0000 82.0000 83.0000 84.0000 85.0000 86.0000 87.0000 88.0000 89.0000 90.0000 91.0000 92.0000 93.0000 94.0000 95.0000 96.0000 97.0000 98.0000 99.0000 100.0000 101.0000 102.0000 103.0000 104.0000 105.0000 106.0000 107.0000 108.0000 109.0000 110.0000 111.0000 112.0000 113.0000 114.0000 115.0000 116.0000 117.0000 118.0000 119.0000 120.0000 121.0000 122.0000 123.0000 124.0000 125.0000 126.0000 127.0000 128.0000 129.0000 130.0000 131.0000 132.0000 133.0000 134.0000 135.0000 136.0000 137.0000 138.0000 139.0000 140.0000 141.0000 142.0000 143.0000 144.0000

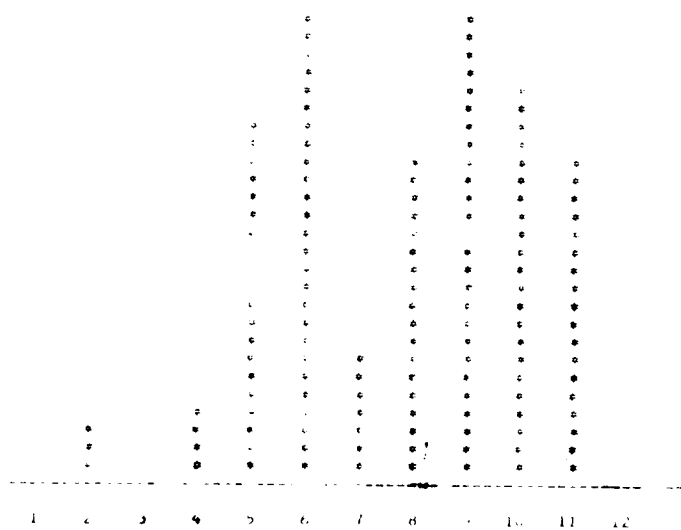


図 3-13 原水温度のヒストグラム

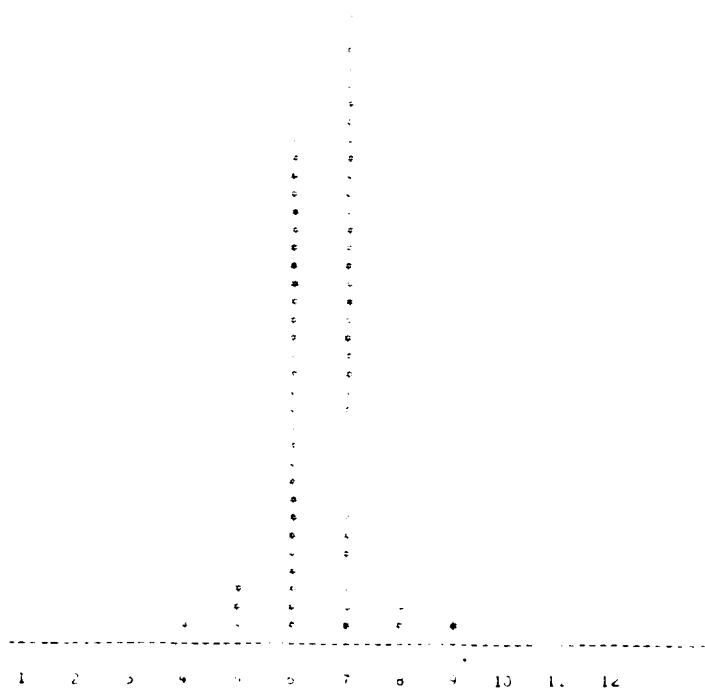


図 3-13b 原水温度（長周期成分除去）のヒストグラム

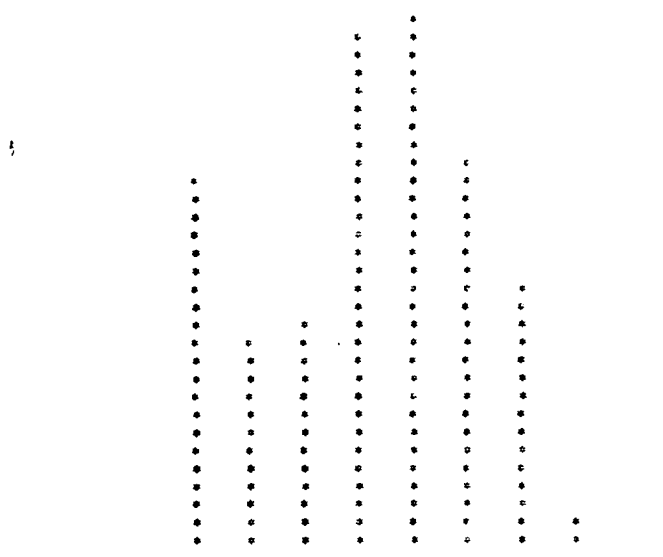


図 3 - 1 4 原水C O Dのヒストグラム

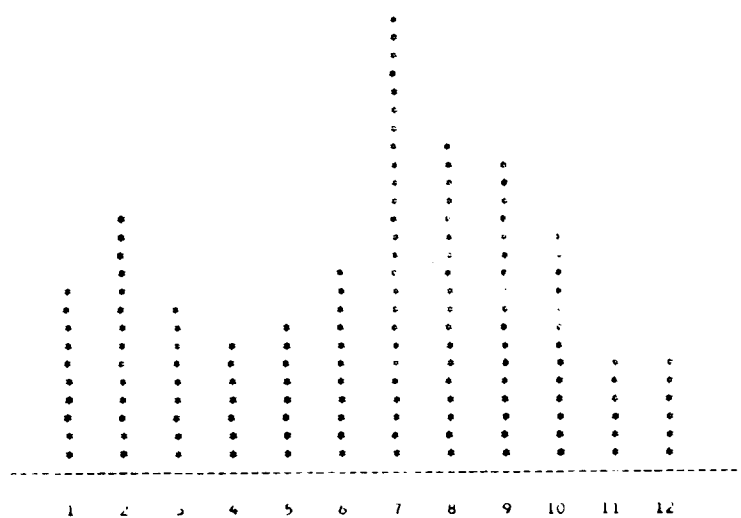


図 3 - 1 4 b 原水C O D (長周期成分除去) のヒストグラム

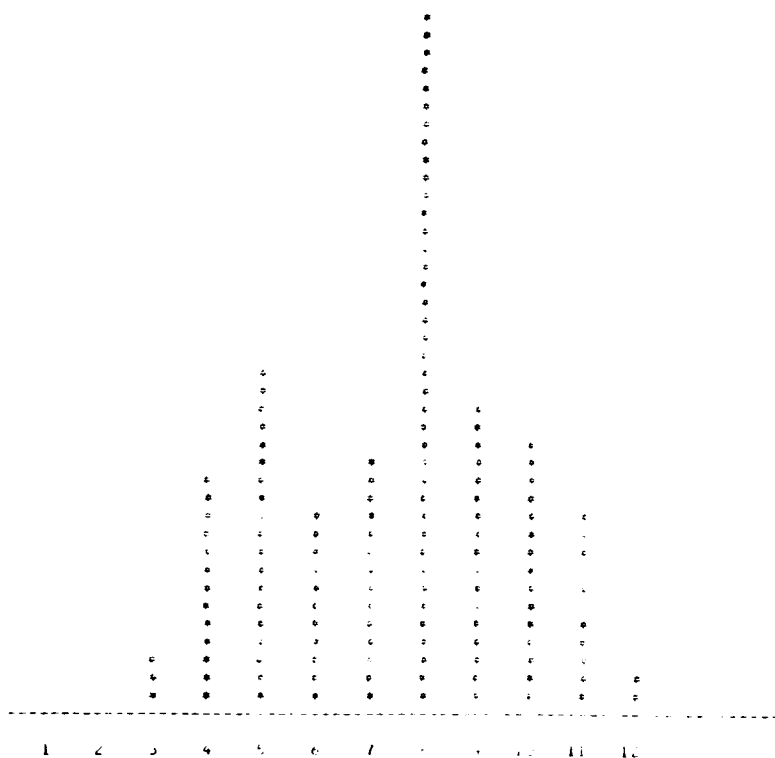


図 3 - 15 沈澱水COD のヒストグラム

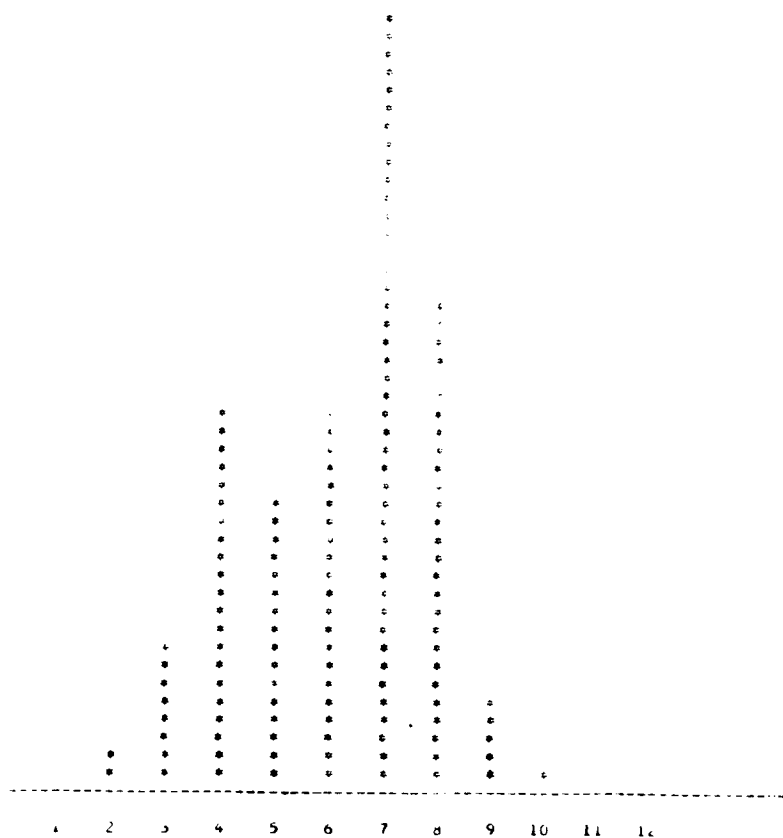


図 3 - 15b 沈澱水COD (長周期成分除去) のヒストグラム

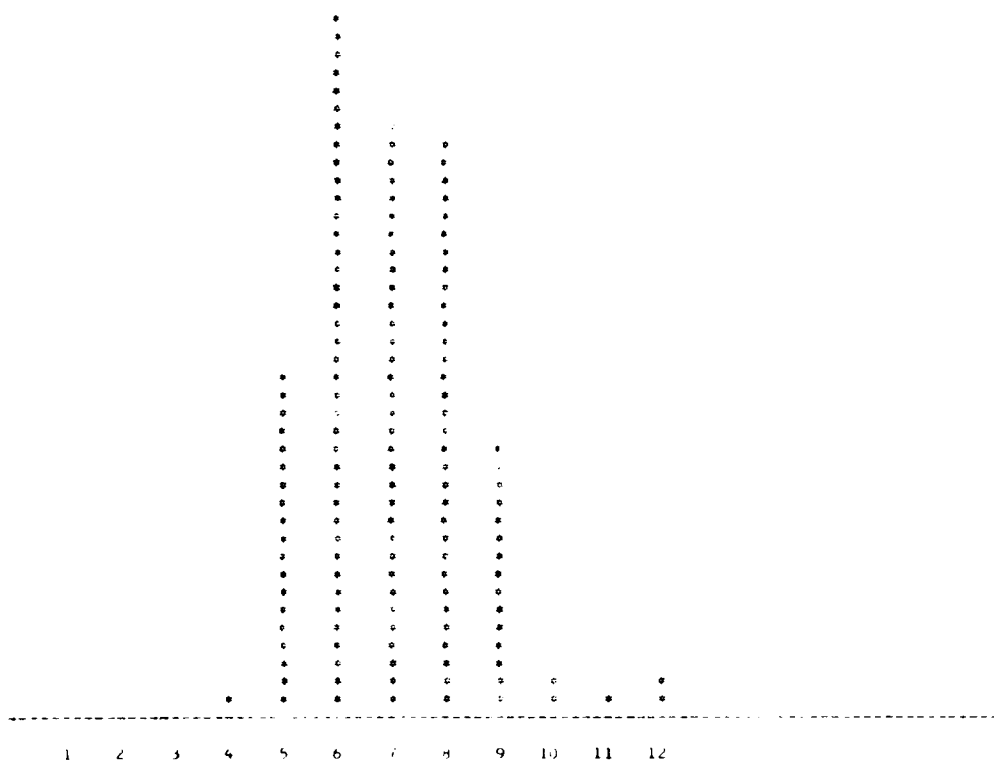


図 3 - 16 処理水CODのヒストグラム

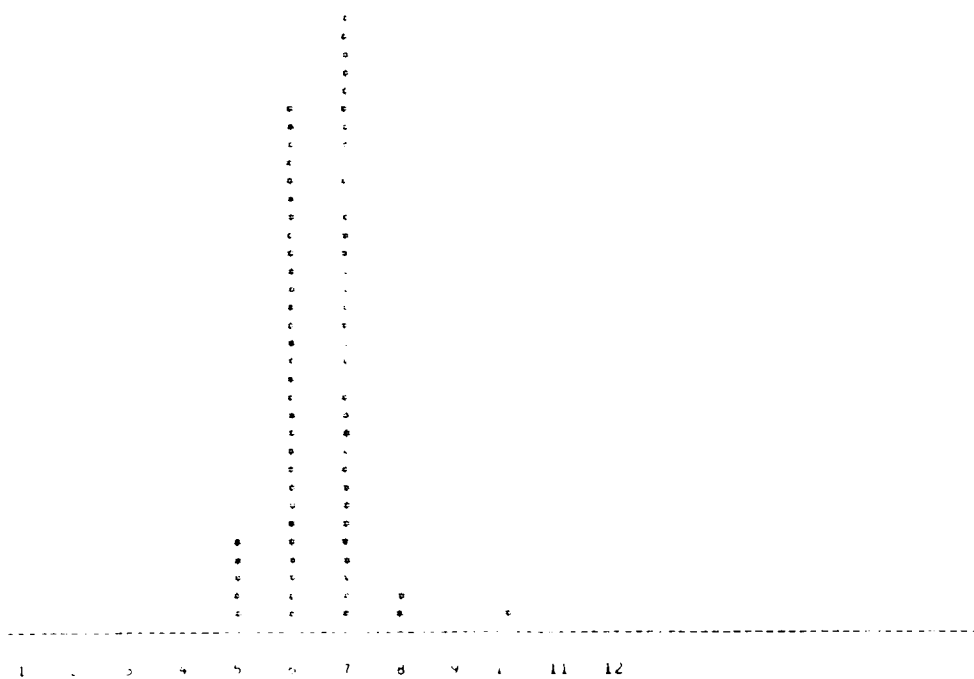


図 3 - 16b 処理水COD（長周期成分除去）のヒストグラム

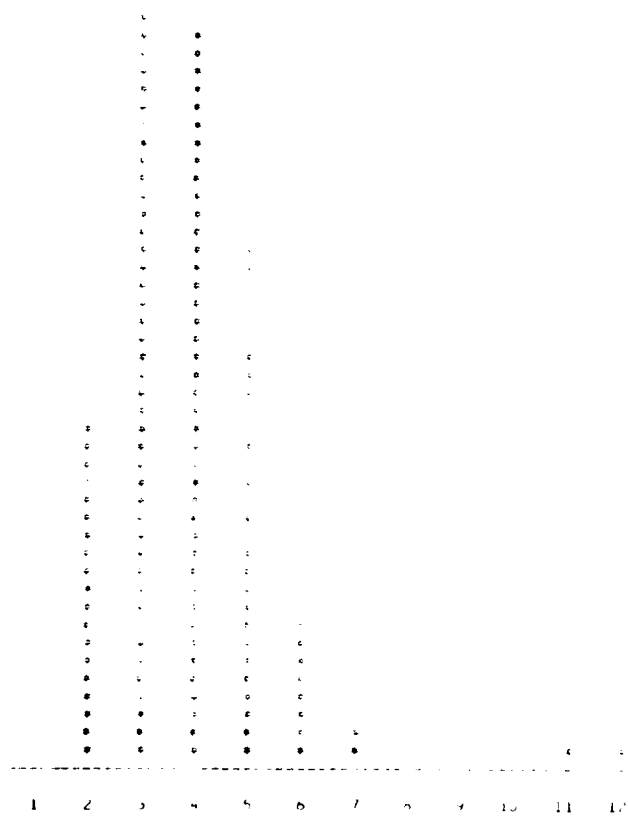


図 3-17 原水SSのヒストグラム

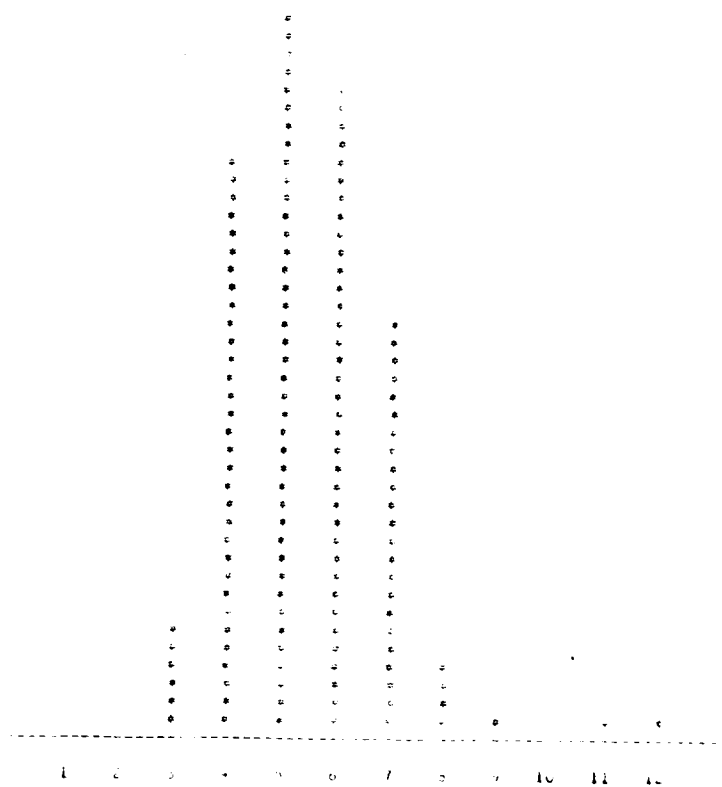


図 3-17b 原水SS（長周期成分除去）のヒストグラム

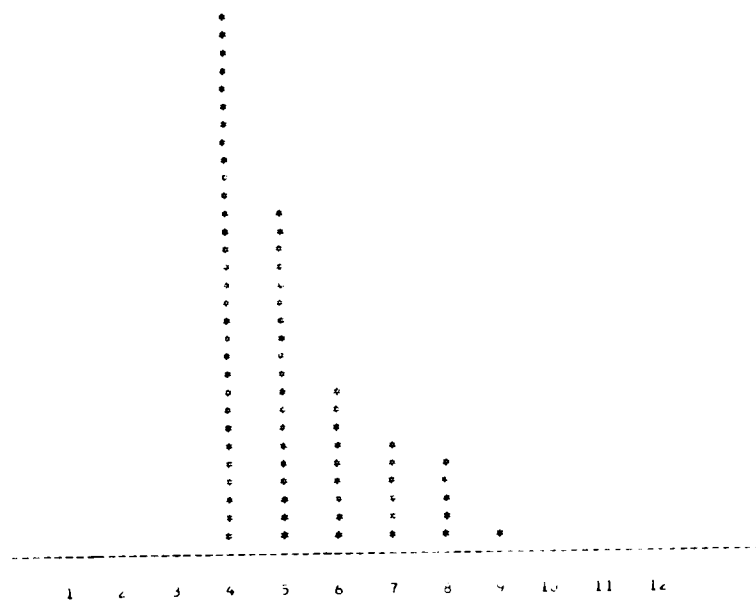


図 3 - 18 沈澱水透視度のヒストグラム

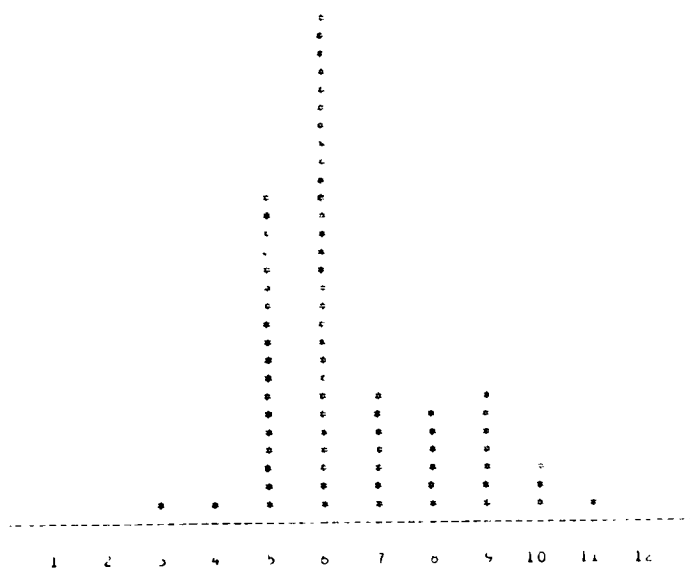


図 3 - 18b 沈澱水透視度（長周期成分除去）のヒストグラム

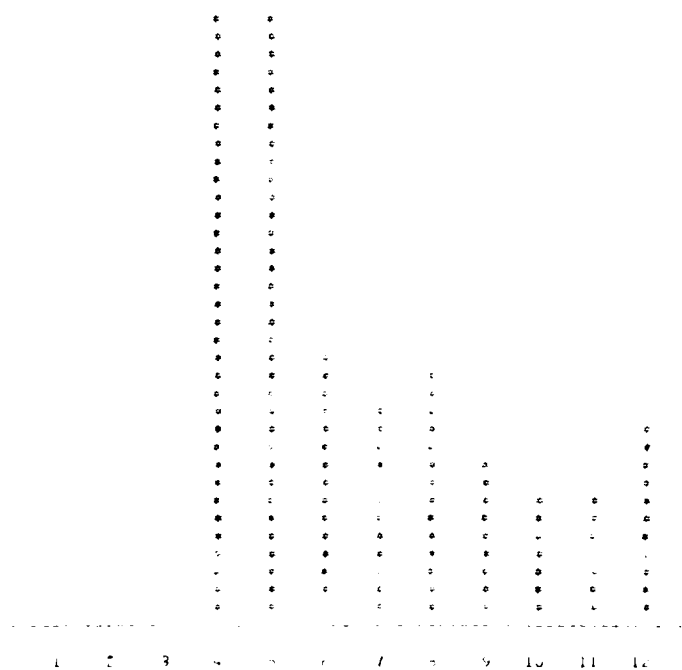


図 3-19 処理水透視度のヒストグラム

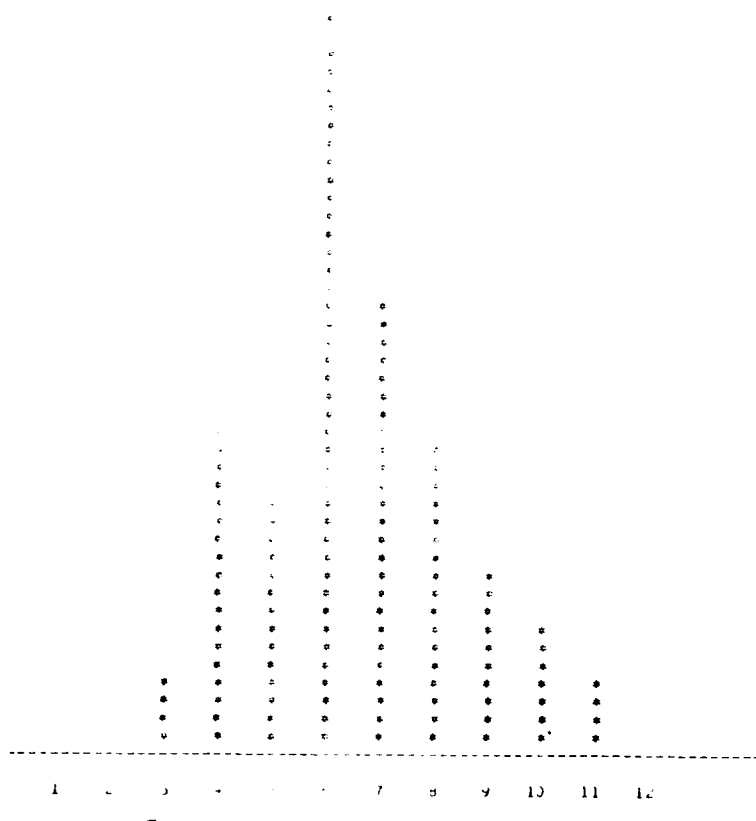


図 3-19b 処理水透視度（長周期成分除去）のヒストグラム

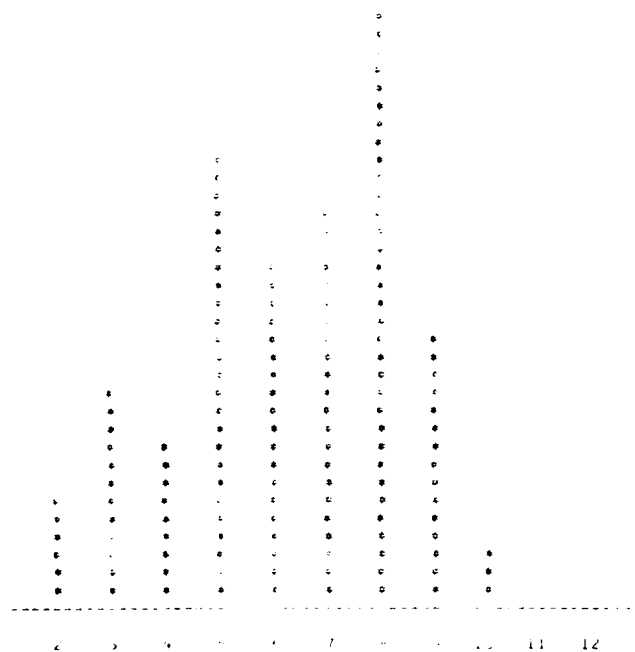


図3-20 流入水量のヒストグラム

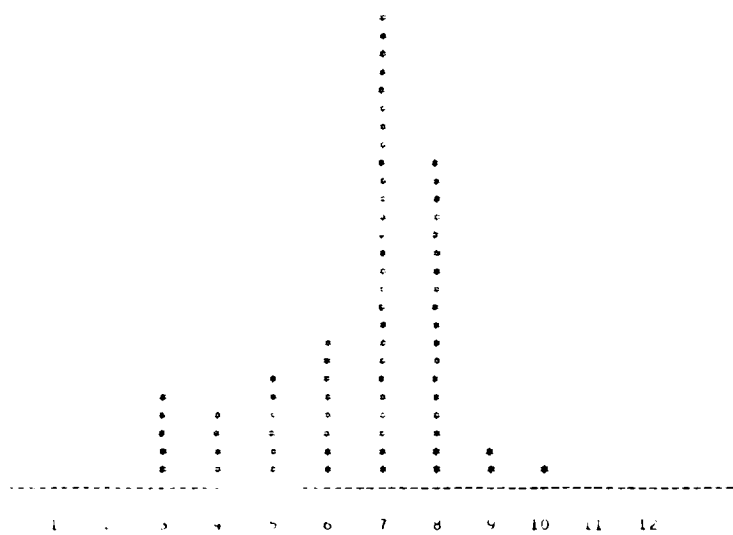


図3-20b 流水水量（長周期成分除去）のヒストグラム

式(3-1)は、測定値はN/2個の調和波に分解できることを意味するが、統計的にすべての調和波が有意義であるわけではない。そこで意味のある調和波の数をMとすると、式(3-1)は次のように書き換えることができる。

$$x(t) = \bar{x} + \sum_{i=1}^M C_i \cos(i\omega t - \theta_i) + x_r(t) \quad \dots\dots 3-2$$

上式の右辺第1項と第2項とをまとめて $x'(t)$ とすれば、

$$x(t) = x'(t) + x_r(t)$$

$x_r(t)$ は、測定値のうちM個の調和波で説明されない部分、すなわち残差を示す。 $x'(t)$ は次の式(3-3)で表わされる。

$$x'(t) = \bar{x} + \sum_{i=1}^M C_i \cos(i\omega t - \theta_i) \quad \dots\dots\dots 3-3$$

全弦定理を用いて書き改めると、

$$x'(t) = \bar{x} + \sum_{i=1}^M (A_i \sin i\omega t + B_i \cos i\omega t) \quad \dots\dots\dots 3-4$$

A_i と B_i はフーリエ係数と呼ぶもので、次のように表わされる。

$$A_i = C_i \sin \theta_i = \frac{2}{N_i} \sum_{N_i=1}^M \{ x(t) \sin i\omega t \} \quad \dots\dots\dots 3-5$$

$$B_i = C_i \cos \theta_i = \frac{2}{N_i} \sum_{N_i=1}^M \{ x(t) \cos i\omega t \} \quad \dots\dots\dots 3-6$$

測定値 $x(t)$ を式(3-5)、(3-6)に代入し、 A_i 、 B_i を求めると、次の式により振幅と位相角をたたちに計算することができる。

$$C_i = \sqrt{A_i^2 + B_i^2} \quad \dots\dots\dots 3-7$$

$$\theta_i = \arctan(A_i/B_i) \dots\dots\dots 3-8$$

i 番目の調和波の平均値 \bar{x} のまわりの分散は次のようになる。

$$S_i^2 = C_i^2 / 2 \quad i < N/2, \quad S_i^2 = C_i^2 \quad i = N/2 \dots\dots 3-9$$

したがって、i 番目の調和波による分散の全体の分散に対する比率は次のようになる。

$$C_i^2 / 2 \sigma_t^2 \quad i < N/2, \quad C_i^2 / \sigma_t^2 \quad i = N/2 \dots 3-10$$

もし、たとえば式(3-10)の値が0.2になったとしたら、i 番目の調和波は全体の変動のうち20%を占めることを意味する。この値によって、その調和波の重要性を判定することができるのである。

(2) 調和波の除去

フーリエ係数を式(3-4)に代入し、 $x'(t)$ を計算すれば $x(t)$ との差として、残渣 $x_r(t)$ を計算できる。

(3) 分散スペクトル密度

一連の測定値から長い周期をもつ調和波を除去したあとの残渣部分である $x_r(t)$ に含まれているかもしれない短周期の変動特性を知るために、分散の密度が周波数に対してどのように分布しているかを解析的に検討する。時間変動は自己相関関数を用いて記述されることが多い。しかし自己相関関数の値は不安定なので、それをフーリエ変換した分散スペクトル密度関数を用いる方が良好な結果をえることができる。分散スペクトル密度関数は次のように定義される。

$$G_x\left(\frac{kfc}{m}\right) = 2h \left[R(0) + 2 \sum_{r=1}^{m-1} R(r) \cdot \cos\left(\frac{\pi rk}{m}\right) + (-1)^k R(m) \right] \dots\dots\dots 3-11$$

h : サンプリングの時間間隔, $f_c = 1/2h$

k : 周期の番号, τ : ラグ数

m : ラグの最大値

$$R(t) = \frac{1}{N-m} \sum_{\tau=0}^{m-1} x_r(t) \cdot x_r(t+\tau)$$

N : サンプル数

(4) 周波数伝達

プラントへの入力 $x(t)$ 、周波数伝達関数 $A(f)$ 、出力 $y(t)$ としたとき、出力と入力との間に線形関係があるものとすれば、次の関係式で表わすことができる。

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t-\tau) A(f) d\tau \quad \dots\dots\dots 3-12$$

$x(t)$ 、 $A(f)$ および $y(t)$ のフーリエ変換をそれぞれ式 (3-13)、(3-14)、(3-15) で表わす。

$$x(f) = \int_{-\infty}^{\infty} \exp(-2\pi i f t) x(t) dt \quad \dots\dots\dots 3-13$$

$$A(f) = \int_{-\infty}^{\infty} \exp(-2\pi i f t) A(t) dt \quad \dots\dots\dots 3-14$$

$$y(f) = \int_{-\infty}^{\infty} \exp(-2\pi i f t) y(t) dt \quad \dots\dots\dots 3-15$$

これらを用いると、式 (3-12) は式 (3-16) に書き換えることができる。ただし、 f は周波数、上式中に限り、 i は虚数である。

$$y(f) = |A(f)|^2 x(f) \quad \dots\dots\dots 3-16$$

この式はインプットのフーリエ変換に周波数伝達関数を乗じると、アウトプットのフーリエ変換が得られることを意味する。

一方、インプット $x(t)$ の分散スペクトル密度関数 $G_x(f)$ と $x(t)$ と $y(t)$ とのクロススペクトル密度関数 $G_{xy}(f)$ との間には次の関係のあることが示されている。

$$G_{xy}(f) = A(f) \times G_x(f) \quad \dots\dots\dots 3-17$$

分散スペクトル密度関数は自己相関関数のフーリエ変換から計算されたのと同様、クロススペクトル密度関数は $x(t)$ と $y(t)$ との相互相関関数式 (3-18) のフーリエ変換である式 (3-19) から求められる。

$$R_{xy} = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \times y(t+\tau) dt \quad \dots\dots\dots 3-18$$

$$G_{xy}(f) = \int_{-\infty}^{\infty} R_{xy}(\tau) \exp(-i2\pi f\tau) d\tau \quad \dots\dots\dots 3-19$$

すなわち、入力分散スペクトル密度と入出力のクロススペクトル密度を確率論的に求めておけば、固有の入力に対する特性から離れて、反応の機構の一般的な特性の解明が可能になる。

インプットとアウトプットとの応答の度合を示す指標として、式 (3-20) で定義されるコヒーレンシーがある。 $G_x(f)$ は先述したインプットの分散スペクトル密度である。 $G_n(f)$ はノイズの分散スペクトル密度である。

$$r^2(f) = 1 - G_n(f)/G_x(f) \quad \dots\dots\dots 3-20$$

つまり、 $x(t)$ とは無関係かまたは線形関係にない部分をノイズと称するから、式 (3-20) は、もしそのプラントが対象としている周波数をもつ入力を完全に出力に伝達する場合、1の値を、まったく伝達しないとき0の値をとる。また、たとえば $r^2(f)$ が 0.75 になったとすれば75%が伝わることを意味する。回帰分析の重相関係数の二乗と同時の指標と考えることができる。

$r^2(f)$ は次の式から計算するのが便利である。

$$r^2(f) = |G_{xy}(f)|^2 / G_x(f) \times G_y(f) \quad \dots\dots\dots 3-21$$

4. 調和解析

調和解析の結果のうち原水温度に関する部分を表 (3-1) に、残りの

NO.	CORR SINS	CORR COS	AMPLITUDE	VARIANCE	VARI RATIO	PHASE
1	1.8694	-5.7407	6.0374	36.4504	96.5483	-0.3140
2	-0.3021	-0.4077	0.5074	0.2575	0.5114	-7.6376
3	-0.3085	-0.5459	0.4271	0.3932	0.9337	0.5144
4	-0.3194	-0.3122	0.4466	0.1995	0.6736	0.7968
5	0.0334	-0.7205	0.7213	0.5209	1.2354	-0.0464
6	0.3722	0.5298	0.4475	0.4192	0.9954	-0.6124
7	0.2101	-0.2472	0.3558	0.1266	0.3006	-0.6316
8	0.3552	-0.5378	0.6445	0.4154	0.9863	-0.5817
9	0.5114	-0.2534	0.5707	0.3257	0.7734	-1.1107
10	0.5055	-0.0995	0.5152	0.2654	0.6302	-1.3765
11	0.3069	0.3490	0.4647	0.2160	0.7218	0.7213
12	0.3204	-0.5331	0.6220	0.3869	0.9186	-7.5413
13	0.5215	-0.2234	0.5474	0.3219	0.7644	-1.1660
14	0.1710	0.2234	0.2416	0.0793	0.1883	0.6525
15	0.0770	0.1007	0.1268	0.0161	0.0342	7.4527
16	-0.0291	0.1306	0.1338	0.0179	0.0425	-0.2191
17	0.0832	0.0412	0.0977	0.0096	0.0227	1.0192
18	0.0211	0.0982	0.1004	0.0101	0.0239	0.2118
19	-0.0044	0.0316	0.0310	0.0010	0.0024	-7.1369
20	0.0716	-0.1638	0.1798	0.0320	0.0759	-0.4122
21	0.1526	-0.0441	0.1549	0.0252	0.0599	-1.2893
22	0.2091	0.0630	0.2184	0.0477	0.1132	1.2784
23	0.1331	0.0952	0.1637	0.0268	0.0436	0.9500
24	0.5688	-0.1174	0.5408	0.3373	0.8009	-1.3672
25	0.5026	-0.1270	0.5184	0.2687	0.5380	-1.3233
26	0.1367	0.1327	0.1891	0.0358	0.0849	0.7931
27	0.0978	0.0221	0.1003	0.0101	0.0239	1.3490
28	-0.0332	-0.0012	0.0333	0.0011	0.0026	1.5340
29	0.0523	0.0453	0.0492	0.0048	0.0114	0.8563
30	-0.0367	0.0315	0.0404	0.0023	0.0056	-0.8607
31	-0.0236	0.0642	0.0694	0.0047	0.0111	-0.3524
32	-0.0004	-0.0359	0.0359	0.0013	0.0031	0.0123
33	-0.0118	0.0552	0.0565	0.0032	0.0076	-0.2109
34	0.0914	0.0485	0.1035	0.0107	0.0254	1.0825
35	-0.0397	0.0961	0.1040	0.0104	0.0257	-7.3915
36	0.2128	-0.0232	0.2140	0.0458	0.1088	-1.4672
37	0.3028	0.0476	0.3065	0.0939	0.2231	1.4150
38	0.0152	0.0354	0.0366	0.0015	0.0035	0.4053
39	0.1354	0.0479	0.1436	0.0706	0.0490	1.2308
40	0.0969	-0.0141	0.0979	0.0046	0.0028	-1.4265
41	0.1352	-0.0291	0.1383	0.0191	0.0454	-1.3587
42	0.1112	0.0531	0.1233	0.0152	0.0361	1.1253
43	-0.0171	0.0644	0.0648	0.0045	0.0106	-0.2593
44	0.0826	0.0432	0.0933	0.0087	0.0207	1.0888
45	0.0357	0.0625	0.0720	0.0042	0.0123	0.5189
46	0.0125	0.0415	0.0424	0.0064	0.0161	0.1421
47	-0.1248	0.0515	0.1387	0.0137	0.0397	-1.1903
48	0.2331	-0.0656	0.2422	0.0587	0.1393	1.2967
49	0.1964	0.1349	0.2384	0.0569	0.1350	0.9604
50	0.1207	-0.0041	0.1208	0.0146	0.0347	-1.5371

表 3-1 水温のフーリエ解析

部分をアペンデックスに収録した。

表(3-1)の左側の、 n は調和波の番号を示す。たとえば $n=1$ はデータの全期間すなわち1年を1周期、 $n=2$ は1年を2周期とする波を示す。

COEF SIN は式(3-5)の A_i を、COEF COSは式(3-6)の B_i を、AMPLITUDEは式(3-7)の C_i を、VARIANCEは式(3-9)の S_i^2 を、VARIATIONは式(3-10)を、PHASEは式(3-8)の θ をそれぞれ示す。

表(3-1)から次のことがわかる。原水温度の第1番目の調和波、すなわち1年を1周期とする波のフーリエ係数は1.86と-5.75であり、その振幅は6.037℃である。この波による分散は36.45(℃)²で、全体の分散に対するこの波の比率は86.5%に達する。1年を1周期とする波が全体の変動の86%に寄与することは、原水の温度の変化のほとんどは1年周期つまり季節変動に基づくことを意味する。この変動の位相角は-0.3148、したがって、 $360 \times -0.314 / 2\pi = -18$ 日だけ原点から位置がずれている。表中の諸量のうちVARIATIONは対象とする調和波の全体に対する寄与の割合を示す指標として、またAMPLITUDEはその波の最大振幅を表わすものとして興味深いので、すべての変量についてこの二つを表(3-2)、(3-3)にまとめた。同表中の全分散とは平均値との偏差の自乗和をデータの総数でわるという方法で計算したものである。同表をみると、原水では1,478.9(mg/l)²であったCODの分散が沈殿により約1/2の707(mg/l)²に、さらに生物処理をすませると1/14の115(mg/l)²に減少することがわかる。処理がすすむほどCODの変動は絶対量は少なくなっていく。

次に、表(3-3)を縦にながめると、その変量の変動の構成成分が局波ごと

表3-2 濁波数別最大振幅

変 期	変 量	原水温度 (°C)	原水COD (mg/L)	沈殿水COD (mg/L)	処理水COD (mg/L)	原水浮遊物 (mg/L)	沈殿水透明度 (cm)	処理水透明度 (cm)	流 量 (m³/日)
12カ月		6.04	3.8	8.1	1.7	16.8	1.6	23.7	1,830
6カ月		0.51	6.8	1.9	2.2	29.4	0.5	2.5	1,375
4カ月		0.61	9.7	7.5	2.5	6.9	0.3	4.1	69
3カ月		0.72	2.6	3.2	0.9	16.9	0.6	4.7	152
2.4カ月		0.35	7.0	2.0	0.9	13.5	0.1	11.5	767
1日		0.62	38.4	28.3	3.1	53.7	3.1	9.8	2,513

表3-3 調和波別分散の寄与率(%)

変 期	変 量	原水温度	原水COD	沈殿水COD	処理水COD	原水浮遊物	沈殿水透明度	処理水透明度	流 量
全分散		21.1	1,478.9	707.7	115.0	5,376.9	11.43	631.4	3477.408
12カ月		86.6	0.49	4.7	6.7	2.6	11.7	44.6	16.5
6カ月		0.6	1.56	0.3	10.9	8.0	1.13	0.5	9.3
4カ月		0.9	3.2	3.9	14.5	0.5	0.5	1.4	0.0
3カ月		0.4	0.2	0.8	2.0	2.7	0.4	1.7	0.1
2.4カ月		1.2	1.67	0.3	1.9	1.7	0.0	10.6	2.9
1日		0.92	49.7	56.6	27.8	26.8	0.9	7.6	31.1

とにわかる。たとえば原水CODでは、1年間を通じた変動の分散 $1,478.9$ (mg/ℓ)²のうち0.49%が1年周期の変動に、6カ月周期に対応する部分は1.56%、1日周期のそれは49.7%である。1日を1周期とする変動が非常に多くのウェートを占めていることがわかる。また振幅は表(3-2)に記入したように、1年周期の波に対して3.8 ppm、6カ月周期に対して6.8 ppm、1日周期に対して38.4 ppmである。いずれも平均値からの偏差であるから、なんらかの方法で1日分の流入下水を貯留して完全に混合することができれば、全分散を約半分に減少することができ、 ± 38.4 ppmのピークをフラットにすることができる。

沈殿水のCODではやはり1日周期の変動が全体の変動の半分を占め、28.3 ppmの振幅をもっている。生物処理をすませたあとの最終放流水のCODでもなお日周期の変動は大きいウェートを占めているけれども、原水や沈殿水で小さかった1年周期の変動も目立つようになってきたので、1日周期の波の全体に対する寄与の仕方は相対的に小さくなっている。もし処理水を24時間なんらかの方法で貯留して完全に混合することができたら、処理水CODの1年間の総分散 $1,115$ (mg/ℓ)²の約27.8%が減少し、3.1 ppmだけピークを少なくすることができる。

表(3-3)の透視度の欄をみると、沈殿水の透視度の全変動のうち1日を周期とする変動に起因する部分は40.9%で、1年を周期とするそれは1.17%であるが、生物処理をしたあとの最終放流水では変動の成分が沈殿水と逆転している。すなわち、年変動に起因する部分は44.6%、日変動に起因する部分は7.6%である。処理水透視度は昼と夜の差よりも、夏と冬との差の方が大きい。処理の進行とともに変動の大きさのみならず構成のされ方が前出のCODと同様透視度でも変わってくる。

第2章において処理プロセスによって、水質の分布形が変わった原因はこれである。

原水水量の変動のうち最大のものは日変動であり、ついで大きいものは年変動である。原水温度では年変動が圧倒的に大きい。すなわち全変動の86.55%が年変動であり、その他の変動はほとんど0に等しい。

原水COD、原水SS両者とも全変動のうち日変動の占める割合が大きいことは、流入水量とまったく同様の傾向であるのでこれらの間には密接な関係があるように思われる。原水CODの24時間変動の位相角は2.7ラジアン、原水水量のそれは2.9ラジアン、両者の差は0.2ラジアンである。したがって位相のずれは $24 \times 0.2 / 2\pi = 0.75$ (HR)になる。すなわち、原水CODと流入水量とはほとんど同じ時刻に山と谷が観測されることがわかる。

図(3-13b)~図(3-20b)は長い方から4つの周期の規則成分を原変動から除去した残差のヒストグラムを画いたものである。図(3-13b)は原水温度の残差部分のヒストグラムであるが、ほぼ左右対象の分布をしている。図(3-13)の長周期の規則変動を含む原データの分布形にくらべて、図(3-13b)は整った形をしている。それに反して、原水温度以外の変量では原データの分布が、長周期の規則成分を除去しても、あまり正規分布に接近していないことが、図(3-14)~図(3-20)とそれに対応する図(3-14b~20b)を比較すれば、判明する。この理由は、表(3-3)からすぐわかる。すなわち原水温度では1周期が1日以下の短い変動がほとんど含まれていないのに反し、その他の変量の場合長周期の変動を除去しても、まだ短周期の規則変動がかなり多く残存しているから、ヒストグラムがこのような不整な形になったものと考えられる。

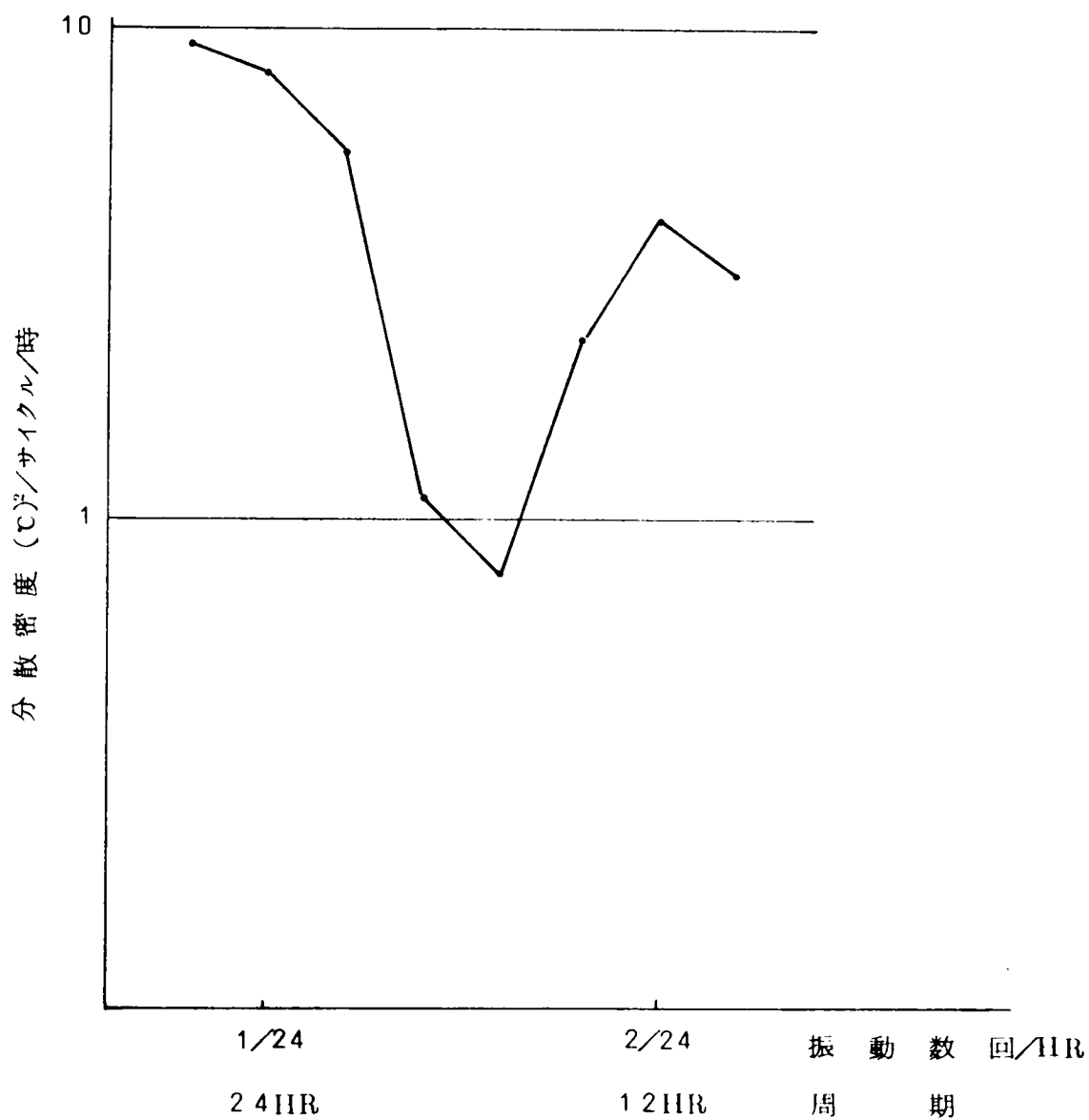


図 3-22 水温の分散スペクトル

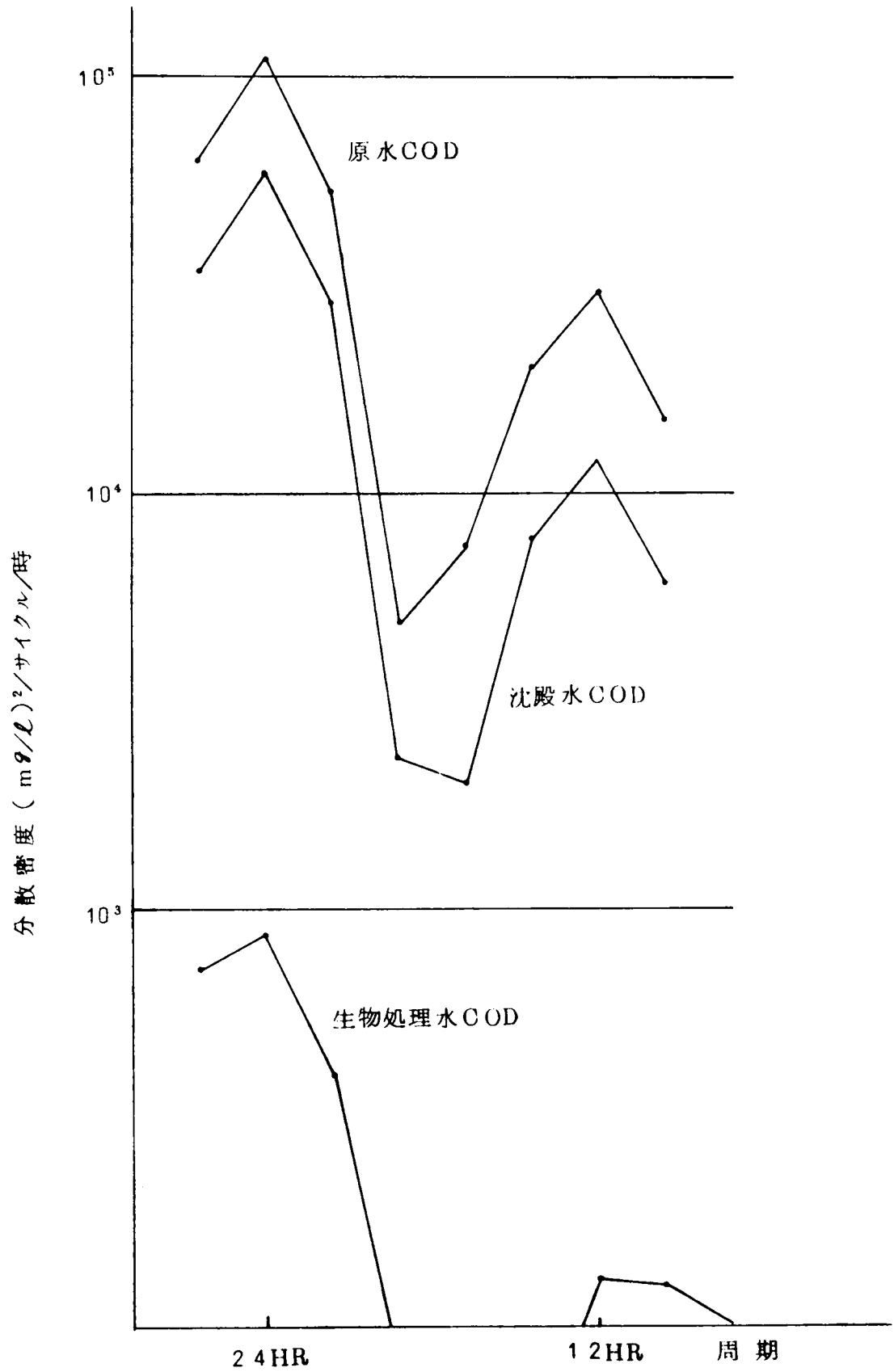


図3-23 CODの分散スペクトル
-84-

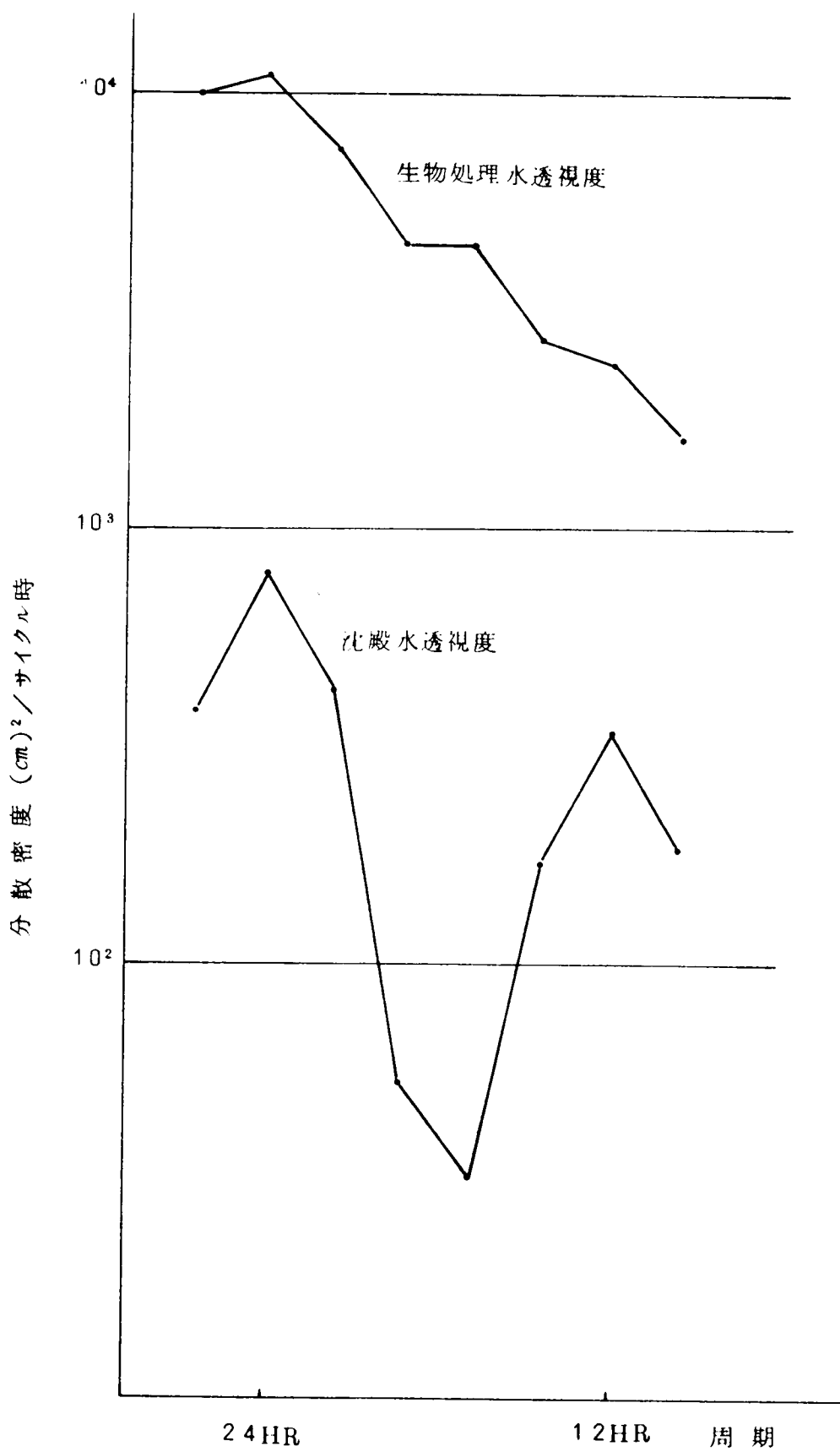


図 3-24 透視度の分散スペクトル

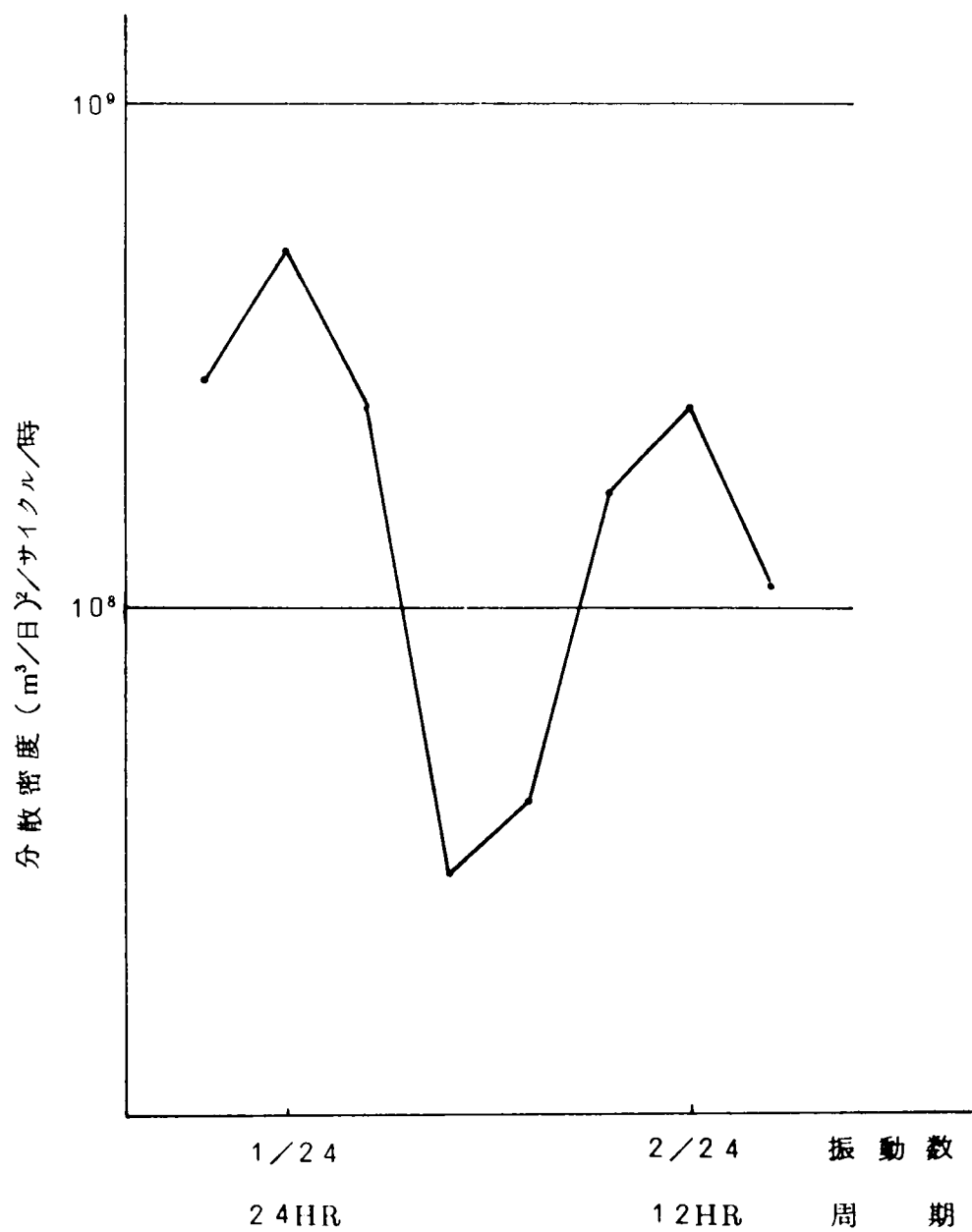


図 3-25 流入水量の分散スペクトル

5. 分散スペクトル解析

分散スペクトルは長周期の変動成分を除去した残差部分の変動がどのような周波数に分布するかを示すものである。換言すると分散の密度を周波数に連続して示すようになっている。たとえば、原水温度では長い方から1, 2, 3, 4 番目以上、合計四つの周波数の波に起因する変動は全体の88%に達することがフーリエ解析からわかった。したがって、残る22%の変動は第5番以下の短い周波数の波動に起因する。この変動が各周波数に対してどのように分布するかが式(3-11)から計算によって求めることができる。アベンデックスの表(3A3・1)～(3A3・2)計算結果をまとめて示した。

図(3-22)～図(3-25)はこれを対数紙にプロットしたものである。

図(3-22)は、長い方から四つの波(1年、6ヵ月、4ヵ月、3ヵ月周期)を除去した残りの原水温度の分散スペクトルを示している。24時間周期より短い部分にはあまり変動がない。22%の残差変動もやはり24時間周期よりも周期の長い方にかたよっている。水温はあまり細かく変動しないという従来の経験的事実と、この分散スペクトル密度の分布とは一致している。

図(3-23)は、同様の計算によって求めた原水COD、沈殿水COD、処理水CODの分散スペクトルである。原水CODは24時間周期と12時間周期の二つの波動成分が大きい。沈殿水のCODもこの傾向がそのまま残っている。しかし生物処理をすませると、全体の変動が大巾に低下し、かつ1日周期のピークは残るが、それ以下の短周期の変動は消えてしまう。

図(3-24)は透視度の分散スペクトル密度である。生物処理をすると透視度はあまり短い周期の変動をしないことがわかる。

図(3-25)は、流入水量の分散スペクトルである。原水CODと同一形になっている。

以上のように原水流入水量や原水CODなどは一見ランダムに見えるけれども、実際はかなり規則的な変動をしていることがわかる。

6. クロススペクトル解析

図(3-26)は式(3-21)に基づいて計算した原水温度と流入水量の r^2 がプロットされている。 r^2 の平方根はコヒーレンシーと呼ばれ、多変数回帰の重相関係数に相当する意義をもつ。同図によると、周期の大きい領域では r^2 は大きい、周期が短くなるに従って急激に低下する。すなわち1年を1周期とするような徐々に下降するように温度の変化があると、流入水量も同じように変動する。しかしながら短い周期で温度に変化があっても、必ずしも流入水量に変化があるとは限らない。図(3-27)をみると、原水温度は処理水CODおよび処理水透視度に対して流入水量に対するのと同様の影響をもっていることがわかる。小さい周期で水温が変わっても、処理水CODや透視度はほとんど影響を受けていない。

図(3-28)に原水CODと沈殿水COD、ならびに沈殿水CODと処理水CODそれぞれの間の r^2 を変量の周波数に対してプロットした。原水CODは沈殿水CODに長周期の変動から短周期の変動にいたるまで伝達される。しかるに沈殿水CODのうち周期の長い変動成分は処理水のCODに伝達されるが、周期の短い変動は伝達されない。以上総合すると、1年を1周期とするような長い周期で原水CODが変動すると、その影響を受けて処理水のCODも変動するけれども、1周期12時間以内の変動があっても完全に吸収されてしまう。この事実は式(3-17)を解いて、周波数伝達関数 $h(f)$ の値を周期-

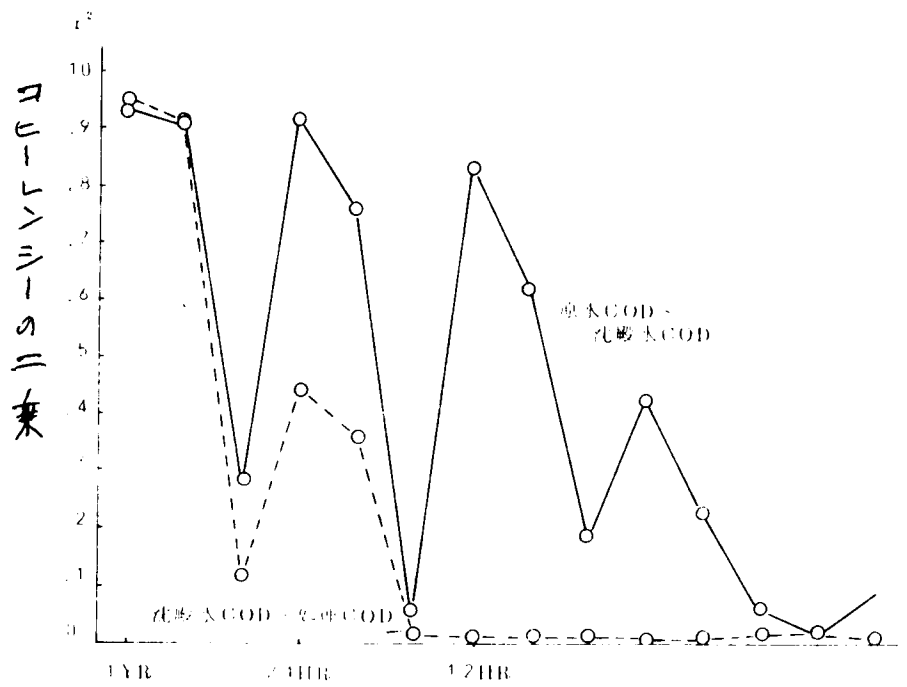


図3-28 原水CODと沈殿水COD
処理水CODとのコヒーレンシー

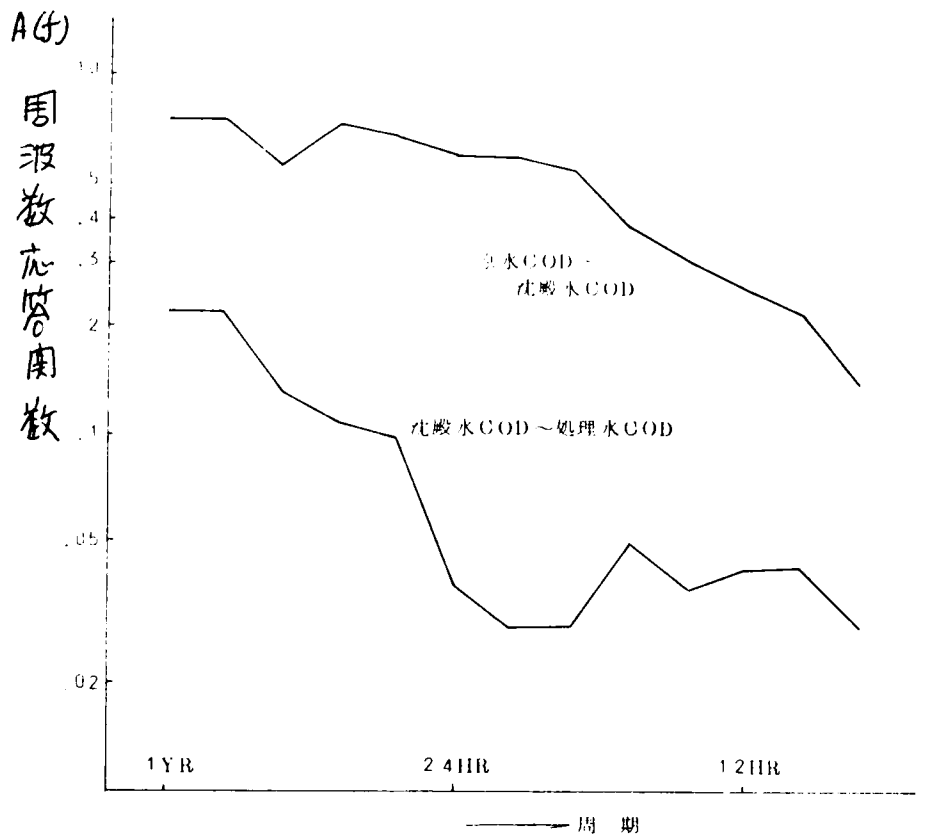


図3-29 周波数応答関数のプロット
-90-

に対してプロットした図(3-29)をみるとさらによく理解される。原水CODとの $A(f)$ は長周期から12時間周期までかなり高い値をもち、その後減衰している。

つまり、原水CODの変動が沈殿水に忠実に伝わる。割合いピストン流に近い流れをこの沈殿池はもっていることがわかる。一方、沈殿水CODと処理水CODとの $A(f)$ は1年周期のところで0.2前後の値をとったのち急速に低下している。短い周期の変動が沈殿水にあっても処理水に伝わらないことを意味している。

7. 考察と総括

変動の解析結果に基づけば、サンプリングについて次のようにいうことができる。日変動が大きく、季節変動が大きい変量、たとえば原水CODやSSでは1日1回の測定を毎日くり返すよりも、1時間間隔で24時間測定を1年数回反復する方がその変化の状態がよくわかる。しかるに、原水温度や処理水透視度などは日変動が小さく、季節変動が大きいから短時間間隔の測定はむだが多い。日変動および季節変動もともに大きい変数、たとえば処理水CODや流入水量、の測定は短い時間間隔の測定を年間に何回かくり返す必要がある。いずれの場合でも測定回数が多いほど好ましいことはいうまでもないが、最小の手間で最大の効果を上げるための計測スケジュールの作製の目的のためには上述のことが役に立つ。

沈殿池は、原水CODの変動をそのまま沈殿処理水に伝達する。しかしながら、エアレーションタンクでは12時間以下の短周期の変動は吸収され処理水には伝わらない。エアレーションタンクの混合特性が完全混合型に近く、しかも滞留時間が長いほどインプットの変動の長周期成分まで吸収する機能がある。したがって、エアレーションタンクの評価は除去率のみならず、周

波紋の伝達特性も考慮すべきである。

原水 C O D と流量の分散スペクトルは類似している。つまり両変量は周波数相関、すなわち、コヒーレンシーが全周期にわたって高い。したがって、これらが処理結果に与える影響の大きさを分離することはできない。このことは、今後原水 C O D と滞留時間の処理に与える影響の調査は、両者が独立するように計画された実験によらなければならないことを示している。

たとえ同一の分散をもっている、その分散がどのような波動成分に起因するかによって対処の仕方が異なってくる。たとえば、ホワイトノイズに近い分散スペクトルをもつ変動はランダムを意味するから、短時間貯留すればすべてのピークと谷を平滑化することができる。しかしまた、処理水 C O D のように 24 時間周期の変動成分が大きい場合、理論的に 24 時間の貯留をすればピークを低下することができる。また、処理水透視度のように 1 年を周期とするような波が存在する場合には貯留という手段は物理的に不可能であるから、ピークを除去するには 3 次処理などの手段が必要になる。

流入水量や水温などが一年を周期として変動していることがこのように処理水の水質の一年周期の変動の原因であるとするならば、個々の下水処理場単位では、この長周期の変動の吸収は不可能である。しかしながら、処理水を再生して再利用する場合のリサイクルの規模を一年単位とすれば、下水の収集と処理を含む一連のシステムの最適解がえられる可能ありそうである。

あとで述べる第 6 章の結果をみれば、処理水のチッ素は C O D とは脈形の関係にあるので 24 時間の貯留をすることにより、チッ素のピーク濃度をかなり低下できできる。

処理水の C O D は（チッ素濃度も）24 時間以下の短周期の変動は少ない

ので、もしこのあとに三次処理施設を設けると、短周期の変動に回答するような鋭敏なプロセスの必要はないと結論を下せそうである。逆説的にいえば、これが活性汚泥処理の今まで定量化されなかった特性の一つでもあるわけである。

物理化学処理など新しいプロセスが導入されようとしているが、これらの評価は本章で提示したような解析をした上でなされるべきであることを主張しておきたい。

エアレーションタンクでは生物分解が、第二沈殿池では重力沈降がそれぞれ下水処理のための主要作用である。前者ではエアレーション強度や混合特性が、後者では密度流や偏流がこれら主要作用の効果を变化させる。とくに沈殿池ではこのことがかなり大きい。それが完全に予想できないことが沈殿池の設計を困難にしてきた。第3章で用いた解析では対象としたプラントの内部で何が起っているかを一切問題にせず、入力と出力との対応の仕方だけを問題にしている。その応答の仕方を長期間かかってあらゆる条件の下で集めた数多くのデータにもとずいて解析しているので、えられた結果は現場の現象をきわめて正確に記述していると思われる。しかしながら、当然のことながら、標準とは変った構造の沈殿池にはそのまま適用できない。このような目的のためには、沈殿池の水理現象と固形物の除去率との関係をあらわすモデルを作り、それがイントップの変動とどのように応答するかを明らかにするという方法によらなければならない。しかしながら、ヘイズンやキャンプ以来、いまだ決定的な沈殿池の設計方法が定着していないのは上述の方法がきわめて困難であることを意味している。

変動を考慮した解析をする場合の一般論としてインプットとして何を選ぶかという問題がある。たとえば、高松は^④BODとSSのそれぞれ72時間の

時間変動をインプットに選んでいる。著者が明らかにするところによると、全水水量、BOD、温度、SSなどいずれも日変動パターンは同一ではなく、また周波数の構成成分も大きく相違している。したがって半理論的なプロセス方程式のインプットのモデルとしては少なくとも一年間の実測値から周和解析によって各成分を抽出し、各成分の全変動への寄与率を計算したのち、その最大のものから何項目かを選ぶべきである。また一年という長周期から1時間という短周期にいたるすべての波動の伝達を問題にするなら、一時間間隔で測定した一年分、8,640個のデータが必要である。

8. 参考文献

① フーリエ解析について

- 1) ランダム変動の解析、共立出版
- 2) S・S・P・マニュアル、IBM

② 分散・クロススペクトルについて

- 1) 相関函数およびスペクトル、東大出版会
- 2) FACOM KEMP マニュアル、富士通
- 3) 新数学講座、土木学会誌、Vol 54、No 12、1969

③ 応用について

- 1) 降雨一流出の相関関数・スペクトル、日野幹雄、東京工大、土木工学科研究報告、No 6
- 2) Statical Approach to Estuary Behavior, ASCE, SA6, Dec-1968
- 3) Variability of Waste Treatment Plant Performance, ASCE, SA3, 1970

④ 高松、橋本、塩谷、“入力変動を考慮した活性汚泥法水処理プロセスの合理的設計”、下水道協会誌 Vol. 8、No 91、12月、1971

9. アペンデックス

PERFORMANCE OF COPOLYMER PLASTICIZER 100%

	FLOW RATE	INF TEMP	INF CDD	SET CDD	EFF CDD	INF SS	SET TR	EFF TR	INF 800
69C320	9								
0 11	4000.0	10.0	41.0	40.0	15.0	129.0	9.0	26.0	0.0
0 13	4500.0	10.2	111.0	42.0	13.0	196.0	5.5	25.0	0.0
0 15	10500.0	10.5	111.0	101.0	17.0	223.0	5.0	24.0	0.0
0 17	5000.0	11.0	111.0	62.0	17.0	112.0	6.0	29.0	0.0
0 19	1000.0	10.5	111.0	42.0	15.0	122.0	6.0	31.0	0.0
0 21	4500.0	11.0	111.0	40.0	15.0	176.0	5.5	30.0	0.0
0 23	4500.0	11.0	111.0	40.0	15.0	110.0	6.5	28.0	0.0
0 1	1000.0	12.6	71.0	40.0	15.0	108.0	7.0	32.0	0.0
0 3	7100.0	12.6	71.0	72.0	17.0	107.0	7.0	32.0	0.0
0 5	7100.0	12.6	60.0	62.0	13.0	52.0	10.0	36.0	0.0
0 7	1000.0	10.7	111.0	50.0	13.0	30.0	10.5	33.0	0.0
		5.0	111.0	47.0	14.0	64.0	13.0	41.0	0.0
69C419	9								
0 11	1000.0	12.0	111.0	11.0	22.0	149.0	8.0	27.0	0.0
0 13	1000.0	12.0	111.0	10.0	16.0	141.0	5.0	35.0	0.0
0 15	1000.0	12.0	111.0	11.0	19.0	143.0	5.0	35.0	0.0
0 17	5200.0	12.7	111.0	11.0	21.0	107.0	8.0	36.0	0.0
0 19	11100.0	13.0	111.0	11.0	19.0	150.0	7.0	36.0	0.0
0 21	10500.0	13.0	111.0	11.0	19.0	100.0	6.5	33.0	0.0
0 23	10500.0	13.0	111.0	11.0	21.0	143.0	6.5	35.0	0.0
0 1	10500.0	13.0	111.0	11.0	14.0	106.0	6.5	28.0	0.0
0 3	5600.0	12.7	111.0	77.0	14.0	116.0	7.0	31.0	0.0
0 5	5600.0	12.7	111.0	64.0	14.0	41.0	9.0	70.0	0.0
0 7	6000.0	12.7	111.0	61.0	14.0	37.0	14.0	77.0	0.0
			111.0	11.0	14.0	21.0	15.0	63.0	0.0
69C509	9								
0 11	10400.0	12.0	111.0	32.0	14.0	137.0	12.0	19.0	0.0
0 13	12100.0	12.0	111.0	77.0	14.0	189.0	5.5	37.0	0.0
0 15	11200.0	12.0	111.0	31.0	14.0	179.0	6.5	31.0	0.0
0 17	11400.0	12.6	111.0	82.0	14.0	138.0	6.4	30.0	0.0
0 19	10000.0	12.6	111.0	31.0	14.0	120.0	6.5	22.0	0.0
0 21	11500.0	12.6	111.0	31.0	14.0	163.0	6.0	24.0	0.0
0 23	11600.0	12.6	111.0	31.0	14.0	167.0	6.5	23.0	0.0
0 1	10800.0	12.6	111.0	31.0	14.0	138.0	7.5	22.0	0.0
0 3	6700.0	12.0	111.0	50.0	14.0	104.0	8.0	25.0	0.0
0 5	6700.0	12.0	111.0	50.0	14.0	83.0	8.5	26.0	0.0
0 7	5700.0	12.0	111.0	40.0	14.0	50.0	11.0	24.0	0.0
			111.0	31.0	14.0	67.0	13.0	32.0	0.0

表 3A 1-7

PERFORMANCE OF ICHIAI PLANT 1965-1970

	FLOW RATE	IN TEMP	INF COD	SET COD	EFF COD	INF SS	SET TR	EFF TR	INF ROD
65C619 9	11600.0	14.5	125.0	40.0	12.0	193.0	12.5	100.0	0.0
0 11	13200.0	14.5	124.0	78.0	11.0	200.0	6.5	100.0	0.0
0 13	14000.0	13.5	127.0	120.0	13.0	129.0	5.5	80.0	0.0
0 15	12600.0	13.0	132.0	112.0	15.0	148.0	6.5	75.0	0.0
0 17	13500.0	12.0	135.0	65.0	14.0	472.0	6.0	68.0	0.0
0 19	14600.0	13.0	142.0	88.0	16.0	536.0	5.0	65.0	0.0
0 21	14000.0	20.0	92.0	73.0	14.0	191.0	5.0	66.0	0.0
0 23	15000.0	20.0	73.0	50.0	14.0	198.0	5.5	68.0	0.0
0 1	15100.0	20.0	64.0	39.0	12.0	123.0	7.0	80.0	0.0
0 3	12600.0	14.5	140.0	28.0	10.0	70.0	10.0	100.0	0.0
0 5	11000.0	19.0	140.0	26.0	10.0	67.0	14.0	100.0	0.0
0 7	7200.0	14.7	42.0	22.0	11.0	49.0	15.0	100.0	0.0
65C717 9	14500.0	20.0	112.0	46.0	12.0	173.0	14.0	60.0	0.0
0 11	14000.0	20.0	110.0	73.0	17.0	194.0	6.0	43.0	0.0
0 13	15000.0	20.5	77.0	90.0	13.0	161.0	6.0	37.0	0.0
0 15	15000.0	20.5	97.0	83.0	15.0	117.0	7.0	35.0	0.0
0 17	15000.0	21.0	77.0	82.0	15.0	114.0	6.0	37.0	0.0
0 19	15600.0	21.0	77.0	78.0	16.0	131.0	8.0	35.0	0.0
0 21	14500.0	21.0	77.0	75.0	14.0	119.0	8.5	37.0	0.0
0 23	14600.0	21.5	73.0	65.0	14.0	99.0	9.0	43.0	0.0
0 1	13500.0	21.5	77.0	52.0	13.0	74.0	10.0	47.0	0.0
0 3	13200.0	21.0	77.0	42.0	10.0	42.0	12.0	48.0	0.0
0 5	7400.0	20.0	77.0	25.0	12.0	51.0	16.0	55.0	0.0
0 7	4100.0	20.0	77.0	22.0	10.0	20.0	19.0	63.0	0.0
65C801 9	14500.0	21.0	170.0	47.0	43.0	178.0	10.5	100.0	0.0
0 11	14000.0	22.5	140.0	113.0	55.0	162.0	7.0	86.0	0.0
0 13	14000.0	22.0	154.0	62.0	60.0	156.0	7.0	96.0	0.0
0 15	14000.0	22.0	131.0	30.0	25.0	101.0	9.5	95.0	0.0
0 17	14000.0	22.0	151.0	83.0	50.0	151.0	8.0	93.0	0.0
0 19	14000.0	22.0	140.0	70.0	50.0	148.0	8.0	90.0	0.0
0 21	14000.0	22.0	75.0	70.0	50.0	79.0	8.0	91.0	0.0
0 23	14000.0	22.0	75.0	75.0	65.0	75.0	9.5	94.0	0.0
0 1	14000.0	22.0	82.0	49.0	46.0	92.0	10.0	100.0	0.0
0 3	11500.0	22.0	83.0	77.0	40.0	33.0	13.0	100.0	0.0
0 5	16000.0	22.2	62.0	30.0	21.0	62.0	11.0	100.0	0.0
0 7	14500.0	22.3	48.0	46.0	30.0	69.0	14.0	94.0	0.0

表3A1.2 原予-9

PERFORMANCE OF CRIPAL PLANT 1965-1970

	FLOW RATE	INF TEMP	INF COD	SET COD	EFF COD	INF SS	SET TH	EFF TR	INF BOD
651019	0	20.3	11.0	37.0	11.0	150.0	12.0	41.0	0.0
	0 11	21.7	11.0	30.0	11.0	120.0	5.5	61.0	0.0
	0 13	21.0	10.0	35.0	13.0	73.0	7.0	54.0	0.0
	0 15	21.0	9.0	33.0	15.0	94.0	7.5	49.0	0.0
	0 17	22.0	9.0	74.0	19.0	93.0	9.0	44.0	0.0
	0 19	22.0	5.0	74.0	15.0	98.0	8.0	46.0	0.0
	0 21	21.0	4.0	67.0	16.0	74.0	8.5	50.0	0.0
	0 23	21.0	4.0	50.0	13.0	76.0	8.0	49.0	0.0
	0 1	20.0	3.0	30.0	12.0	59.0	9.5	63.0	0.0
	0 3	21.0	3.0	37.0	12.0	38.0	13.0	75.0	0.0
	0 5	21.0	2.0	40.0	12.0	15.0	14.0	71.0	0.0
	0 7	20.0	2.0	24.0	11.0	35.0	16.0	78.0	0.0
651003	0	19.0	11.0	42.0	15.0	142.0	15.0	45.0	0.0
	0 11	19.0	12.0	37.0	15.0	154.0	7.5	55.0	0.0
	0 13	19.0	13.0	50.0	13.0	92.0	7.0	58.0	0.0
	0 15	19.0	10.0	33.0	17.0	49.0	8.5	55.0	0.0
	0 17	19.0	10.0	47.0	15.0	112.0	8.5	55.0	0.0
	0 19	19.0	9.0	77.0	13.0	131.0	9.0	55.0	0.0
	0 21	19.0	8.0	47.0	15.0	78.0	8.5	50.0	0.0
	0 23	19.0	11.0	100.0	12.0	112.0	9.0	66.0	0.0
	0 1	19.0	10.0	30.0	11.0	35.0	11.0	75.0	0.0
	0 3	19.0	10.0	43.0	11.0	32.0	11.0	88.0	0.0
	0 5	19.0	10.0	31.0	9.0	29.0	15.0	94.0	0.0
	0 7	19.0	10.0	23.0	8.0	27.0	18.0	100.0	0.0
651105	0	17.5	11.0	48.0	12.0	176.0	15.0	73.0	0.0
	0 11	17.5	10.0	103.0	11.0	216.0	7.0	61.0	0.0
	0 13	17.5	10.0	93.0	12.0	95.0	7.0	60.0	0.0
	0 15	17.5	11.0	77.0	14.0	91.0	9.5	55.0	0.0
	0 17	17.5	10.0	90.0	13.0	124.0	9.0	58.0	0.0
	0 19	17.5	10.0	67.0	13.0	166.0	9.0	60.0	0.0
	0 21	17.4	9.0	73.0	13.0	71.0	8.5	59.0	0.0
	0 23	17.4	8.0	43.0	14.0	81.0	8.5	60.0	0.0
	0 1	17.4	6.0	63.0	13.0	60.0	10.0	73.0	0.0
	0 3	17.4	4.0	55.0	11.0	25.0	12.0	80.0	0.0
	0 5	17.5	3.0	36.0	11.0	33.0	15.0	97.0	0.0
	0 7	17.5	3.0	24.0	11.0	38.0	19.0	100.0	0.0

表 2-13 原行-4

PERFORMANCE OF COCHAI PLANT 1965 -1970

	FLCM RATE	INF TEMP	INF CO2	SFT CO2	EFF CO2	INF SS	SET T-	EFF TR	INF BOD
691216	10400.C	11.6	148.0	48.0	16.0	136.0	13.0	34.0	0.0
0 11	15100.C	12.0	147.0	105.0	18.0	248.0	5.5	30.0	0.0
0 13	14000.C	12.2	133.0	110.0	19.0	195.0	6.0	29.0	0.0
0 15	14100.0	12.2	150.0	107.0	20.0	202.0	6.0	30.0	0.0
0 17	13200.C	12.0	110.0	120.0	22.0	140.0	6.5	30.0	0.0
0 19	14600.C	12.0	130.0	113.0	19.0	181.0	7.0	29.0	0.0
0 21	15000.C	12.0	127.0	110.0	21.0	108.0	7.5	28.0	0.0
0 23	14100.C	12.0	107.0	65.0	17.0	91.0	7.0	31.0	0.0
0 1	14100.C	12.0	61.0	90.0	17.0	39.0	8.0	31.0	0.0
0 3	10500.C	12.5	63.0	64.0	18.0	76.0	8.5	26.0	0.0
0 5	7000.C	12.5	43.0	43.0	17.0	67.0	12.0	44.0	0.0
0 7	6600.C	12.3	36.0	31.0	14.0	79.0	15.0	45.0	0.0
700121	10500.C	5.8	153.0	51.0	19.0	273.0	11.0	30.0	0.0
0 11	15300.C	10.8	125.0	99.0	21.0	211.0	7.0	74.0	0.0
0 13	16000.C	11.0	127.0	107.0	22.0	190.0	5.0	20.0	0.0
0 15	16600.0	11.0	150.0	120.0	25.0	130.0	5.5	20.0	0.0
0 17	13500.C	11.0	123.0	108.0	23.0	225.0	6.0	21.0	0.0
0 19	14500.C	11.0	133.0	104.0	23.0	235.0	7.0	23.0	0.0
0 21	16000.C	11.5	123.0	102.0	23.0	212.0	6.0	25.0	0.0
0 23	14000.C	11.4	110.0	67.0	20.0	107.0	6.0	31.0	0.0
0 1	11400.C	12.7	50.0	93.0	20.0	62.0	7.5	37.0	0.0
0 3	8000.0	12.3	60.0	75.0	18.0	63.0	7.5	42.0	0.0
0 5	6500.C	12.0	36.0	48.0	18.0	31.0	15.0	42.0	0.0
0 7	7200.C	10.5	38.0	40.0	18.0	19.0	12.0	45.0	0.0
700228	11000.C	11.6	103.0	36.0	19.0	131.0	13.0	27.0	0.0
0 11	14500.C	12.1	140.0	98.0	19.0	173.0	6.0	23.0	0.0
0 13	17500.C	15.3	110.0	107.0	21.0	132.5	0.5	23.0	0.0
0 15	14600.C	15.7	120.0	93.0	22.0	154.0	6.5	21.0	0.0
0 17	13800.C	12.8	117.0	93.0	21.0	123.0	6.5	25.0	0.0
0 19	14100.C	10.8	110.0	87.0	23.0	132.0	6.0	22.0	0.0
0 21	13700.C	10.3	112.0	100.0	23.0	108.0	6.5	20.0	0.0
0 23	12400.C	8.3	90.0	80.0	20.0	95.0	6.5	25.0	0.0
0 1	11800.C	5.1	75.0	71.0	18.0	95.0	7.0	29.0	0.0
0 3	8500.C	5.9	55.0	65.0	18.0	114.0	10.0	32.0	0.0
0 5	14700.C	5.2	50.0	23.0	15.0	60.0	7.5	28.0	0.0
0 7	10700.C	4.5	34.0	36.0	17.0	119.0	7.5	30.0	0.0

NO.	COEF SINS	COEF COS	AMPLITUDE	VARIANCE	VARI RATIO	PHASE
1	1.3560	3.5654	3.8145	14.5507	0.4919	0.3634
2	-4.0937	-5.4472	6.8140	46.4302	1.5697	0.6445
3	1.9410	-9.5399	9.7353	94.7763	3.2041	-0.2007
4	-2.1971	1.9003	2.6605	7.0792	0.2393	-0.9717
5	6.9884	0.8972	7.0458	49.6433	1.5783	1.4431
6	-4.2221	-5.1032	6.6233	43.8681	1.4830	0.6912
7	1.7430	-0.0655	1.7442	3.0423	0.1029	-1.5332
8	1.5921	-0.4507	1.6547	2.7379	0.2926	-1.2949
9	-1.6601	-0.0687	1.6415	2.7607	0.0933	1.5294
10	0.5428	-2.9829	2.9335	8.6057	0.2909	-0.1841
11	3.4570	-4.3254	5.5372	30.6606	1.0365	-7.6743
12	37.8097	6.5130	38.3665	1471.9837	49.7634	1.4002
13	-0.8384	-4.4160	4.4944	20.2736	0.6830	0.1876
14	-2.5892	0.7028	2.6928	7.1977	0.2433	-1.3057
15	4.1236	-0.6357	4.1723	17.4083	0.5895	-1.4178
16	-1.0298	-2.9499	3.0302	9.1823	0.3104	7.3447
17	-0.6131	-1.6572	1.7670	3.1223	0.1056	0.3544
18	-1.7289	0.9915	1.7314	2.9976	0.1013	-1.5179
19	5.3851	0.1974	5.3987	29.0384	7.9817	1.5341
20	-0.8199	-6.5114	6.5678	43.0700	1.4561	0.1253
21	-1.3742	2.4192	2.7872	7.7407	0.2617	-0.5166
22	0.3998	-0.2365	0.4645	0.2158	0.2073	-1.0366
23	5.6030	0.1889	5.6062	31.4293	1.0625	1.5371
24	7.0089	17.7038	19.0407	362.5441	12.2566	2.3770
25	1.0129	-3.4586	3.6039	12.9883	0.4391	-0.2849
26	0.9831	-5.0718	5.1662	26.6893	0.9023	-0.1915
27	1.4716	-2.2953	2.7266	7.4341	0.2513	-0.5701
28	-1.0570	-1.9752	2.2402	5.0186	0.1497	0.4913
29	1.3291	-0.2110	1.3458	1.8111	0.0612	-1.4133
30	1.6430	-3.6275	3.9822	15.8581	0.5361	-0.4253
31	-2.1133	-0.3641	2.1445	4.5988	0.1555	1.4002
32	5.1582	-0.5051	5.1829	26.4622	0.9081	-1.4732
33	-0.5932	0.0670	0.5969	0.3563	0.0120	-1.4583
34	3.0098	-1.4980	3.3620	11.3031	0.3821	-1.1090
35	-1.3351	0.9191	1.6208	2.6271	0.0888	-0.9679
36	-0.0755	12.4605	12.4602	155.2701	5.2492	-0.0061
37	3.6203	-5.3963	6.4982	42.2267	1.4276	-0.5909
38	1.5181	-0.7574	1.6566	2.8784	0.0973	-1.1080
39	2.9128	-2.4254	3.7904	14.3673	0.4857	-0.8765
40	-0.8252	-1.3255	1.5614	2.4378	0.0824	0.5568
41	1.9307	0.5781	2.0153	4.0616	0.1373	1.2799
42	-0.2811	-1.6437	1.6676	2.7808	0.0940	0.1694
43	1.8265	0.3389	1.8577	3.4510	0.1167	1.3873
44	-0.8542	-3.0557	3.1728	10.0667	0.3403	0.2726
45	2.2595	1.3690	2.6419	6.9796	0.2360	1.0261
46	-0.1574	1.5692	1.5771	2.4872	0.2941	-0.0999
47	-0.4194	2.6662	2.6990	7.2844	0.2463	-0.1560
48	-3.5373	6.7872	7.6536	58.5783	1.9803	-0.4804
49	0.0583	-2.8789	2.8793	8.2906	0.2803	-0.0168
50	5.4835	-0.5088	5.5070	30.3275	1.2253	-1.4783

FOURIER ANALYSIS FOR OCHIAI 1 HOURLY NSET COD

NO.	COEF. SINS	COEF. COS	AMPLITUDE	VARIANCE	VARI. RATIO	PHASE
1	-3.1784	7.4662	9.1144	65.8465	4.6520	-0.4075
2	-0.6580	-1.7761	1.8941	3.5876	0.2535	7.3548
3	2.8441	-6.9062	7.4499	55.7848	3.9412	-0.3906
4	1.5901	-2.8722	3.2879	10.7776	0.7614	-0.5956
5	-1.1920	-1.5784	1.9780	3.9124	0.2764	-0.6468
6	-1.5783	-5.2723	5.5015	30.2885	2.1399	0.2909
7	-1.2141	-1.4340	1.8780	3.5304	0.2494	0.7075
8	0.5417	2.1098	2.1782	4.7647	0.3352	0.2513
9	0.7370	0.9080	1.1695	1.3677	0.0966	0.6419
10	-1.1895	-2.0597	2.3785	5.6574	0.3097	0.5237
11	2.3542	-4.7392	5.2917	28.0023	1.9784	-0.4610
12	26.9879	-8.5411	28.3133	801.6414	56.6359	-1.2636
13	-0.2474	-1.6894	1.7075	2.9154	0.2060	0.1454
14	-3.4178	2.1051	4.0141	16.1126	1.1384	-1.0188
15	2.0653	1.4988	2.5440	6.4819	0.4579	0.9462
16	-0.2616	-2.5763	2.5896	6.7059	0.4738	0.1012
17	2.1711	-1.4582	2.6154	6.8397	0.4832	-0.9784
18	-0.9100	0.2100	1.2870	1.6563	0.1170	-0.7854
19	0.4042	-0.5792	0.7083	0.4988	0.0352	-0.6094
20	2.2709	-2.3301	3.2537	10.5865	0.7479	-0.7725
21	-1.3462	1.3244	1.8913	3.5770	0.2527	-0.7921
22	1.8738	0.9392	2.0960	4.3932	0.3104	1.1082
23	3.1379	-1.9182	3.6778	13.5260	0.9556	-1.0221
24	12.3283	-2.6624	12.6125	159.0752	11.2387	1.3581
25	-1.7013	-0.4997	1.7732	3.1442	0.2221	1.2851
26	0.5604	-0.6169	0.8334	0.6946	0.0491	-0.7375
27	0.3142	0.9319	0.9834	0.9671	0.0683	0.3252
28	-0.9091	-1.5274	1.7775	3.1594	0.2232	0.5369
29	0.2093	-0.0875	0.2764	0.0514	0.0036	-1.1748
30	-0.6027	-2.2136	2.2942	5.2633	0.3718	7.2658
31	0.3025	-0.1975	0.3612	0.1305	0.0092	-0.9923
32	0.8841	-1.0508	1.3732	1.8857	0.1332	-0.6395
33	-0.5342	0.2111	0.5744	0.3300	0.0233	-1.1944
34	1.8990	-0.7984	2.0600	4.2437	0.2098	-1.1728
35	1.9807	-1.2704	2.3541	5.5373	0.3912	-1.0005
36	4.0464	1.5592	4.3365	18.8049	1.3286	1.2030
37	-0.4418	-0.6348	0.7734	0.5982	0.0423	0.6080
38	-1.0643	0.9136	1.4076	1.9674	0.1390	-0.8615
39	1.4778	-1.4592	2.0768	4.3131	0.3047	-0.7917
40	-0.2875	0.5551	0.6252	0.3908	0.0276	-0.4778
41	-1.1870	-0.6918	1.3739	1.8876	0.1334	1.0431
42	0.1156	-0.8467	0.8546	0.7303	0.0516	-0.1357
43	-2.0652	-0.9208	2.2612	5.1131	0.3612	1.1514
44	0.8022	-2.0038	2.1584	4.6586	0.3291	-0.3808
45	-0.9375	2.2938	2.4780	6.1404	0.4338	-0.3880
46	0.4043	0.3713	0.5489	0.3013	0.0213	0.8279
47	1.4411	-1.3320	1.9624	3.8510	0.2721	-0.8247
48	3.0424	1.2819	3.3014	10.8993	0.7700	1.1720
49	-1.2930	-1.2906	1.8269	3.3377	0.2358	0.7863
50	-0.1730	-2.2848	2.2913	5.2502	0.3709	0.0756

NO.	COEF SINS	COEF COS	AMPLITUDE	VARIANCE	VARI RATIO	PHASE
1	-0.3093	1.7179	1.7455	3.0468	6.6974	-0.1741
2	-2.0010	0.9924	2.2335	4.9888	10.9662	-1.1104
3	-0.7727	-2.4518	2.5707	6.6085	14.5266	-0.3053
4	-0.9499	-0.1827	0.9673	0.9356	2.0567	1.3807
5	0.9300	0.0061	0.9300	0.8650	1.9014	1.5643
6	-0.9946	-1.0356	1.4350	2.0617	4.5320	0.7652
7	0.7170	-0.0420	0.7217	0.5208	1.1449	-1.4569
8	-1.0275	-0.8450	1.3523	1.9287	4.0198	0.8573
9	-0.0938	0.9917	0.9942	0.9923	2.1813	-0.0943
10	0.3075	-1.2490	1.2843	1.6545	3.6368	-0.2414
11	0.2617	-0.2063	0.2618	0.0685	0.1506	-1.5469
12	2.6590	-1.6451	3.1480	9.9098	21.7833	-1.0052
13	-0.6048	0.3137	0.6013	0.4642	1.0205	-1.0923
14	0.3893	-0.2424	0.4556	0.2103	0.4623	-1.0138
15	-0.1960	-0.3526	0.3734	0.1394	0.3065	0.5527
16	0.4310	-0.3178	0.5562	0.3100	0.5815	-0.9851
17	-0.2421	-0.2841	0.3733	0.1393	0.3062	0.7059
18	0.4143	-0.3115	0.4145	0.1719	0.3777	-1.5427
19	-0.0480	-0.5773	0.5782	0.3355	0.7375	0.0830
20	0.0510	0.5580	0.0772	0.0060	0.0131	0.7212
21	-0.2068	-0.0627	0.2159	0.0466	0.1024	1.2737
22	-0.0106	0.2603	0.0612	0.0037	0.0042	-0.1734
23	0.1546	-0.5390	0.5607	0.3144	0.5910	-0.2793
24	0.0338	-0.4238	0.4252	0.1808	0.3074	0.0706
25	0.5356	-0.2334	0.5942	0.3413	0.7503	-1.1599
26	-0.2928	0.1292	0.3201	0.1025	0.2252	-1.1551
27	0.8176	-0.4134	0.9162	0.8394	1.8452	-1.1027
28	-0.5662	-0.1273	0.5804	0.3168	0.7404	1.3496
29	0.5621	-0.2175	0.5841	0.3412	0.7500	-1.1832
30	-0.2026	-0.1389	0.2770	0.0767	0.1686	0.8205
31	0.6609	0.1255	0.6727	0.4525	0.9947	1.3831
32	-0.3384	-0.4029	0.5241	0.2768	0.6094	0.6988
33	0.1204	0.3217	0.3635	0.1180	0.2593	0.3582
34	0.1363	-0.5458	0.5625	0.3164	0.5056	-0.2449
35	0.3408	0.2658	0.4372	0.1868	0.4107	0.3034
36	0.0429	-0.1278	0.1348	0.0142	0.0399	-0.3240
37	0.1633	0.3317	0.3657	0.1367	0.3004	0.4575
38	0.1943	0.1716	0.2593	0.0672	0.1477	0.8474
39	0.4451	0.2204	0.4567	0.2467	0.5422	1.1109
40	0.3014	-0.0795	0.3117	0.0972	0.2136	-1.3130
41	0.3718	0.1241	0.3920	0.1536	0.3377	1.2486
42	0.2120	-0.0579	0.2197	0.0483	0.1041	-1.3043
43	0.1719	0.3465	0.1781	0.0317	0.0697	1.3068
44	-0.0077	-0.4108	0.4109	0.1688	0.3711	0.0187
45	0.0322	0.2795	0.2814	0.0792	0.1740	0.1147
46	0.0407	-0.3997	0.4017	0.1614	0.3548	-0.1015
47	0.0552	0.4179	0.4215	0.1777	0.3905	0.1314
48	-0.0116	0.1536	0.1541	0.0237	0.0522	-0.0751
49	-0.0907	-0.0365	0.0918	0.0096	0.0210	1.1887
50	0.5676	0.1498	0.5775	0.3446	0.7575	1.3127

NO.	COEF SINS	COEF COS	AMPLITUDE	VARIANCE	VARI RATIO	PHASE
1	12.2023	11.5220	16.8175	282.8291	2.6300	0.8119
2	-15.8368	-24.7526	29.3842	863.4314	8.3290	0.5691
3	-6.8309	1.3648	6.9659	48.5241	0.4512	-1.3736
4	13.5268	10.2300	16.9595	287.6267	2.6786	0.9733
5	12.8308	-4.3541	13.5664	183.5873	1.7072	-1.2436
6	-12.0522	-0.9418	12.0889	146.1413	1.3590	1.4928
7	2.4853	15.0774	15.2809	233.5054	2.1714	0.1434
8	7.1295	1.1911	7.2293	52.2484	0.4859	1.4053
9	-6.5678	-9.2666	11.3581	129.0055	1.1996	0.8166
10	-12.8375	13.1111	17.1901	171.9001	1.5985	1.7661
11	10.6127	2.5294	19.7751	391.0540	3.6364	1.4425
12	52.6610	10.6011	53.7174	2885.5642	26.8327	1.3721
13	-12.2381	-6.0407	13.6478	186.2628	1.7320	1.1123
14	-8.8882	6.4476	10.9805	120.5715	1.1212	-0.9432
15	12.8739	-0.4382	12.8813	165.9287	1.5430	-1.5368
16	-2.5767	-6.2377	6.7489	45.5680	0.4235	0.3917
17	-10.2919	3.0466	10.7334	115.2058	1.0713	-1.2830
18	-1.3396	2.8826	3.1782	10.1012	0.0939	-0.4347
19	11.0148	-12.4678	16.6364	276.7715	2.5737	-0.7236
20	-3.1969	-10.6168	11.0876	122.9356	1.1432	0.2925
21	-1.2880	10.5148	10.5934	112.2191	1.0435	-0.1719
22	6.5641	0.4671	6.5807	43.3060	0.4027	1.4998
23	7.6316	-1.2613	7.7352	59.8328	0.5564	-1.6070
24	-4.1429	26.1140	26.1350	683.2461	6.3535	-0.0437
25	4.0727	-4.0756	5.7617	33.1976	0.3087	-0.7850
26	11.3756	-11.3764	16.0881	258.8262	2.4068	-0.7854
27	0.9442	-10.0736	10.1178	102.3692	0.9519	-0.0935
28	-0.8184	0.8154	1.1555	1.3352	0.0124	-0.7870
29	6.9826	11.2078	13.2050	174.3716	1.6215	0.5572
30	5.7760	-5.7120	8.1234	65.9893	0.5136	-0.7910
31	-5.7083	-6.4007	8.5763	73.5533	0.5840	0.7283
32	1.0598	1.5221	1.9547	3.4400	0.3320	0.6082
33	8.8860	-0.7363	8.9216	79.5954	0.7402	-1.4814
34	1.8750	-10.0485	10.2270	104.4888	0.9716	-0.1845
35	2.8866	1.8946	4.8477	23.5005	0.2185	0.6378
36	6.6014	27.3147	28.5274	817.2378	7.5094	0.2330
37	4.2641	-12.5133	13.2199	174.7651	1.6251	-0.3284
38	-3.7670	-8.5139	9.3100	86.6759	0.8060	0.4166
39	0.7238	-0.4446	0.8494	0.7215	0.0067	-1.0199
40	6.0383	2.2870	6.4569	41.6910	0.3877	1.2087
41	6.7123	-9.0678	11.2810	127.2807	1.1836	-0.6372
42	-4.7034	-5.6396	7.3435	53.9274	0.5015	0.6951
43	-0.4411	7.8388	7.8728	8.2531	0.0767	-0.1542
44	6.9660	-4.9635	8.5535	73.1620	0.6803	-0.9517
45	4.3860	-2.7194	5.1607	26.6333	0.2477	-1.0157
46	-6.3098	0.4438	6.3254	40.0101	0.3721	-1.5006
47	2.4591	0.4152	2.4940	6.2198	0.0578	1.4035
48	1.0176	2.0382	2.2781	5.1897	0.0483	0.4631
49	-5.3132	-7.4623	9.1605	83.9154	0.7803	0.6187
50	1.1898	-0.7538	1.4084	1.9837	0.0184	-1.0061

NO.	COEF SINS	COEF COS	AMPLITUDE	VARIANCE	VARI RATIO	PHASE
1	2.9701	-22.5475	22.7252	553.3577	44.6139	-0.1254
2	1.7599	-1.9517	2.5546	6.5259	0.5169	-0.7400
3	2.2352	3.4298	4.1366	17.1116	1.3551	0.5622
4	-4.2357	2.1228	4.7378	22.4459	1.7776	-1.1062
5	6.0983	-9.1408	11.5510	133.4472	10.5691	-0.6508
6	-5.4781	-1.1604	6.5571	73.2244	5.7949	1.4348
7	4.4400	8.0200	9.1400	83.7215	6.6302	0.5048
8	2.4900	-2.3511	3.4174	11.4794	0.9248	-0.8121
9	0.3501	-1.3921	1.3469	1.3152	0.1042	-0.3102
10	0.7827	-3.5030	3.4004	12.8935	1.0203	-0.2108
11	-1.2013	2.4538	2.7331	7.4643	0.5911	-0.4553
12	-9.1920	3.3327	2.7384	25.6168	7.5722	-1.2230
13	5.1930	-4.0108	6.5416	43.0539	3.4098	-0.9131
14	1.5474	-1.2747	1.0423	3.8505	0.3049	-0.9045
15	-1.3554	0.1150	1.4608	1.9518	0.1466	-1.4856
16	0.8449	0.0734	0.9481	0.7192	0.0570	1.4839
17	3.9714	-3.3261	4.5020	24.9291	1.9742	-0.9107
18	-3.8290	-1.5195	4.1154	15.9368	1.3413	1.1255
19	-1.4770	4.3154	4.3708	18.3380	1.4400	-0.3527
20	2.0503	0.3987	3.0527	4.2135	0.3337	1.5227
21	1.2550	-1.3947	2.5547	5.5541	0.4398	-0.5615
22	-2.2124	-0.4220	2.2443	5.1271	0.4060	-1.3563
23	-2.1570	0.7302	3.2572	5.2769	0.4170	-1.2106
24	-1.5421	-3.3860	4.1817	17.4865	1.3849	0.3727
25	2.1471	-0.3592	2.1627	4.6771	0.3704	-1.4506
26	-0.0294	0.2468	0.2468	0.0618	0.0049	-0.1186
27	-0.5162	1.3711	1.4650	2.1463	0.1700	-0.3601
28	1.1155	0.7164	1.3568	1.7576	0.1202	0.0099
29	-0.6109	-0.1894	2.0420	9.7792	0.5352	-1.5072
30	-2.5250	-1.6643	1.7720	3.1431	0.2489	0.3518
31	1.4885	0.2379	2.5362	6.4321	0.5094	-1.4769
32	0.8351	0.4561	1.7172	2.9487	0.2335	1.0448
33	0.4330	-0.3545	0.8360	0.7004	0.0555	-1.5056
34	-0.9787	1.4534	1.5145	2.2947	0.1821	0.2896
35	-0.7837	-0.1271	0.0807	0.0795	0.0776	1.4216
36	2.0054	-1.7570	1.4913	2.1944	0.1738	-0.5575
37	-1.1735	-0.3037	2.0242	4.1139	0.3258	-1.4205
38	-0.9251	-0.4407	1.2716	1.5169	0.1280	1.1755
39	0.4978	1.0525	1.4013	1.7635	0.1555	-0.7211
40	-0.6369	0.4278	0.5563	0.4308	0.0341	0.8609
41	-0.7330	-1.0711	1.2745	4.4067	0.3648	0.9350
42	1.1240	0.4802	0.8742	1.5529	0.1230	-0.5364
43	0.4654	-0.0223	1.1242	0.7638	0.0608	-0.0908
44	0.2305	-0.1581	0.4938	0.2438	0.1001	1.5509
45	-0.8518	-0.1541	0.2871	0.3824	0.0193	-1.2300
46	-1.7628	-0.4147	0.5474	0.8976	0.0065	-0.9867
47	1.5592	-0.3053	3.1324	3.8976	0.0711	1.1177
48	1.7628	1.7628	3.1324	3.8976	0.0711	-1.5678
49	-0.6484	1.7628	2.2722	5.4279	0.4457	0.7172
50		-0.6484	0.0113	0.8305	0.0450	0.7915

1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. 11. 12. 13. 14. 15. 16. 17. 18. 19. 20. 21. 22. 23. 24. 25. 26. 27. 28. 29. 30. 31. 32. 33. 34. 35. 36. 37. 38. 39. 40. 41. 42. 43. 44. 45. 46. 47. 48. 49. 50.

| 周期 | 処理水量程度
MOVING AVERAGE | 汚物処理水量程度
MOVING AVERAGE | 原水汚濁物
MOVING AVERAGE | 流入下水量
MOVING AVERAGE |
|------|--------------------------|----------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 24HR | 0.6199215000E-02 | 0.2177341000E 02 | 0.3420681000E 03 | 0.3330100000E 05 |
| | 0.2643990000E 00 | 0.5313113000E 03 | 0.1211260000E 04 | 0.2202440000E 07 |
| | 0.9276363000E 00 | 0.1366449000E 04 | 0.3725900000E 04 | 0.5290310000E 07 |
| | 0.2391971000E 01 | 0.1794195000E 04 | 0.6174867000E 04 | 0.7361819000E 07 |
| | 0.3823045000E 02 | 0.1002510000E 04 | 0.1774950000E 05 | 0.2467010000E 08 |
| | 0.7841090000E 02 | 0.1114560000E 04 | 0.2722560000E 05 | 0.5240545000E 08 |
| | 0.4223932000E 02 | 0.7366965000E 03 | 0.1442357000E 05 | 0.2949565000E 08 |
| | 0.5200809000E 01 | 0.4450001000E 03 | 0.4162512000E 04 | 0.3050150000E 07 |
| | 0.3271880000E 01 | 0.4312233000E 03 | 0.4572705000E 04 | 0.4202619000E 07 |
| | 0.1794199000E 02 | 0.2774475000E 03 | 0.5337010000E 04 | 0.1752630000E 06 |
| | 0.3415500000E 02 | 0.2435499000E 03 | 0.7674527000E 04 | 0.2552842000E 08 |
| | 0.1877939000E 02 | 0.1693213000E 03 | 0.5722246000E 04 | 0.1170690000E 08 |
| 12HR | 0.3434760000E 01 | 0.1470320000E 03 | 0.3047682000E 04 | 0.2100470000E 07 |
| | 0.2309876000E 01 | 0.1443057000E 03 | 0.2434231000E 04 | 0.3540384000E 07 |
| | 0.5589950000E 01 | 0.3269520000E 02 | 0.5442066000E 04 | 0.4205050000E 07 |
| | 0.9153905000E 01 | 0.7402437000E 02 | 0.8701223000E 04 | 0.4109270000E 07 |
| | 0.5074930000E 01 | 0.3612787000E 02 | 0.4956004000E 04 | 0.25942354000E 07 |
| | 0.1197677000E 01 | 0.6001442000E 02 | 0.1949936000E 04 | 0.2554135000E 07 |
| | 0.1021760000E 01 | 0.4004790000E 02 | 0.1708690000E 04 | 0.3006000000E 07 |
| | 0.1843390000E 01 | 0.4425449000E 02 | 0.1294492000E 04 | 0.2592849000E 07 |

表A3-1 分紙スポート密度

| 周期 | 水 | MOVING AVERAGE | MAX CDD | MOVING AVERAGE | 分散水CDD | 平均処理水CDD |
|------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------|
| | | MOVING AVERAGE | MOVING AVERAGE | MOVING AVERAGE | MOVING AVERAGE | MOVING AVERAGE |
| Z4HR | 0.18760000E 01 | 0.2393979000E 03 | 0.7584043000E 02 | 0.7584043000E 02 | 0.7776446000E 01 | |
| | 0.444284000E 01 | 0.4850765000E 03 | 0.1300132000E 03 | 0.1300132000E 03 | 0.1449076000E 01 | |
| | 0.334445000E 01 | 0.8860250000E 03 | 0.2477740000E 03 | 0.2477740000E 03 | 0.2359624000E 02 | |
| | 0.13947000E 02 | 0.1350085000E 04 | 0.1337951000E 03 | 0.1337951000E 03 | 0.144029E 000E 02 | |
| | 0.3942730000E 01 | 0.6139930000E 04 | 0.1344953000E 04 | 0.1344953000E 04 | 0.7264033000E 02 | |
| | 0.333374000E 04 | 0.1102660000E 03 | 0.1633961000E 04 | 0.1633961000E 04 | 0.1854746000E 02 | |
| | 0.44647000E 01 | 0.523624000E 04 | 0.1243497000E 04 | 0.1243497000E 04 | 0.1344707000E 02 | |
| | 0.110770000E 01 | 0.4904960000E 03 | 0.1272690000E 03 | 0.1272690000E 03 | 0.1794154000E 01 | |
| | 0.79421600E 00 | 0.7444710000E 03 | 0.1362610000E 03 | 0.1362610000E 03 | 0.5132427000E 04 | |
| | 0.2340330000E 01 | 0.2061740000E 04 | 0.1390078000E 03 | 0.1390078000E 03 | 0.1611461000E 01 | |
| I2HR | 0.4612466000E 01 | 0.1394465000E 04 | 0.1127774000E 04 | 0.1127774000E 04 | 0.1953699000E 01 | |
| | 0.1300972000E 01 | 0.1976104000E 04 | 0.1519497000E 03 | 0.1519497000E 03 | 0.1132473000E 02 | |
| | 0.2443340000E 00 | 0.13324780000E 03 | 0.1714235000E 02 | 0.1714235000E 02 | 0.1160816000E 02 | |
| | 0.3297260000E 00 | 0.4120515000E 03 | 0.6124605000E 02 | 0.6124605000E 02 | 0.11354495000E 02 | |
| | 0.609442000E 00 | 0.1237919000E 04 | 0.12457839000E 03 | 0.12457839000E 03 | 0.1433097000E 01 | |
| | 0.1302007000E 01 | 0.15444885000E 04 | 0.1334936000E 03 | 0.1334936000E 03 | 0.1832561000E 01 | |
| | 0.427020000E 01 | 0.6426276000E 03 | 0.1544410000E 03 | 0.1544410000E 03 | 0.1347971000E 01 | |
| | 0.4574020000E 00 | 0.12144770000E 03 | 0.1914110000E 02 | 0.1914110000E 02 | 0.1160235000E 01 | |
| | 0.5444364000E 00 | 0.2744230000E 03 | 0.1330330000E 03 | 0.1330330000E 03 | 0.1174441000E 01 | |
| | 0.444447000E 00 | 0.1133947000E 03 | 0.1162647000E 03 | 0.1162647000E 03 | 0.14774220000E 02 | |
| | 0.193170000E 00 | 0.1744346000E 03 | 0.1174441000E 03 | 0.1174441000E 03 | 0.116161000E 01 | |

表3A3 2 分散スワクトル密度

表 9A-4-2 沅陵水 COD 处理水 COD 70222714.8447

| FREQUENCY | ABILITY OF DATA | PHASE | CONFIDENCE | RELATIVE ERROR |
|-----------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| 0 | 0.4253051E+00 | 0.00 | 0.9446070E+00 | 0.11560740E+00 |
| 1 | 0.22505710E+00 | -0.4724730E+00 | 0.96234560E+00 | 0.21457580E+00 |
| 2 | 0.22657943E+00 | -0.31300230E+00 | 0.8693170E+00 | 0.50830070E+00 |
| 3 | 0.2457072E+00 | -0.12730730E+00 | 0.62273120E+00 | 0.14987200E+00 |
| 4 | 0.2346044E+00 | -0.0000034E+00 | 0.7216370E+00 | 0.4591770E+00 |
| 5 | 0.1703073E+00 | -0.2525703E+00 | 0.32281330E+00 | 0.22879880E+00 |
| 6 | 0.1807000E+00 | 0.09460030E+00 | 0.3577960E+00 | 0.20230680E+00 |
| 7 | 0.1316070E+00 | 0.00064180E+00 | 0.7032670E+00 | 0.96122740E+00 |
| 8 | 0.1116010E+00 | -0.2101742E+00 | 0.4551170E+00 | 0.55648230E+00 |
| 9 | 0.5977573E+01 | -0.0835272E+00 | 0.7132131E+00 | 0.89116020E+00 |
| 10 | 0.3619000E+01 | -0.0345036E+00 | 0.7605020E+00 | 0.52430850E+00 |
| 11 | 0.7938070E+01 | 0.1587220E+00 | 0.51682540E+00 | 0.33586710E+00 |
| 12 | 0.5737020E+01 | -0.0004080E+00 | 0.7046140E+00 | 0.54859880E+00 |
| 13 | 0.3211075E+01 | -0.1126713E+00 | 0.0000000E+00 | 0.9346040E+00 |
| 14 | 0.8219027E+01 | 0.5797777E+00 | 0.2118270E+00 | 0.29139530E+00 |
| 15 | 0.6527776E+01 | 0.0000000E+00 | 0.0000000E+00 | 0.1996630E+00 |
| 16 | 0.6998505E+01 | 0.1129500E+00 | 0.11135150E+00 | 0.37232160E+00 |
| 17 | 0.4100000E+01 | 0.1072702E+00 | 0.27519330E+00 | 0.2605550E+00 |
| 18 | 0.4510000E+01 | 0.0000000E+00 | 0.7375150E+00 | 0.0000000E+00 |
| 19 | 0.1036000E+01 | 0.0000000E+00 | 0.0000000E+00 | 0.0000000E+00 |
| 20 | 0.2222222E+01 | -0.0000000E+00 | 0.0000000E+00 | 0.0000000E+00 |
| 21 | 0.1572000E+01 | -0.0000000E+00 | 0.0000000E+00 | 0.0000000E+00 |
| 22 | 0.0000000E+00 | -0.0000000E+00 | 0.0000000E+00 | 0.0000000E+00 |
| 23 | 0.0000000E+00 | -0.0000000E+00 | 0.0000000E+00 | 0.0000000E+00 |
| 24 | 0.0000000E+00 | -0.0000000E+00 | 0.0000000E+00 | 0.0000000E+00 |
| 25 | 0.0000000E+00 | -0.0000000E+00 | 0.0000000E+00 | 0.0000000E+00 |
| 26 | 0.0000000E+00 | -0.0000000E+00 | 0.0000000E+00 | 0.0000000E+00 |
| 27 | 0.0000000E+00 | -0.0000000E+00 | 0.0000000E+00 | 0.0000000E+00 |
| 28 | 0.0000000E+00 | -0.0000000E+00 | 0.0000000E+00 | 0.0000000E+00 |

表 3A 4-3 废水 COD-处理水: OD 70% 水解析

| FREQUENCY | ANGLE OF REFLECTION | ANGLE OF INCIDENCE | ANGLE OF REFRACTION | ANGLE OF TRANSMISSION |
|-----------|---------------------|--------------------|---------------------|-----------------------|
| 0 | 0.75667400 | 0.00000000 | 0.75667400 | 0.00000000 |
| 1 | 0.75701300 | 0.00000000 | 0.75701300 | 0.00000000 |
| 2 | 0.80113100 | 0.00000000 | 0.80113100 | 0.00000000 |
| 3 | 0.72535700 | 0.00000000 | 0.72535700 | 0.00000000 |
| 4 | 0.75227900 | 0.00000000 | 0.75227900 | 0.00000000 |
| 5 | 0.63554200 | 0.00000000 | 0.63554200 | 0.00000000 |
| 6 | 0.77454120 | 0.00000000 | 0.77454120 | 0.00000000 |
| 7 | 0.76610090 | 0.00000000 | 0.76610090 | 0.00000000 |
| 8 | 0.73535700 | 0.00000000 | 0.73535700 | 0.00000000 |
| 9 | 0.71654500 | 0.00000000 | 0.71654500 | 0.00000000 |
| 10 | 0.59554270 | 0.00000000 | 0.59554270 | 0.00000000 |
| 11 | 0.70527800 | 0.00000000 | 0.70527800 | 0.00000000 |
| 12 | 0.38217800 | 0.00000000 | 0.38217800 | 0.00000000 |
| 13 | 0.22474100 | 0.00000000 | 0.22474100 | 0.00000000 |
| 14 | 0.40147500 | 0.00000000 | 0.40147500 | 0.00000000 |
| 15 | 0.58745150 | 0.00000000 | 0.58745150 | 0.00000000 |
| 16 | 0.64350300 | 0.00000000 | 0.64350300 | 0.00000000 |
| 17 | 0.58961100 | 0.00000000 | 0.58961100 | 0.00000000 |
| 18 | 0.46935270 | 0.00000000 | 0.46935270 | 0.00000000 |
| 19 | 0.45044000 | 0.00000000 | 0.45044000 | 0.00000000 |
| 20 | 0.58726700 | 0.00000000 | 0.58726700 | 0.00000000 |
| 21 | 0.52738400 | 0.00000000 | 0.52738400 | 0.00000000 |
| 22 | 0.26372120 | 0.00000000 | 0.26372120 | 0.00000000 |
| 23 | 0.25708120 | 0.00000000 | 0.25708120 | 0.00000000 |
| 24 | 0.28189800 | 0.00000000 | 0.28189800 | 0.00000000 |
| 25 | 0.28379470 | 0.00000000 | 0.28379470 | 0.00000000 |
| 26 | 0.25333000 | 0.00000000 | 0.25333000 | 0.00000000 |
| 27 | 0.31625200 | 0.00000000 | 0.31625200 | 0.00000000 |
| 28 | 0.16181700 | 0.00000000 | 0.16181700 | 0.00000000 |

表 7A.4.4 水温・日照・通視度・風速・湿度

表3A4-5 水温処理水CODロスバグナル解析

| FREQUENCY | AMPLITUDE (dB) | PHASE | COHERENCY | RELATIVE ERROR |
|-----------|----------------|-----------------|----------------|----------------|
| 0 | 0.8939440E 00 | 0.0 | 0.93463570E 00 | 0.42324250E 00 |
| 1 | 0.0073000E 00 | -0.25573590E 00 | 0.07666490E 00 | 0.60085670E 00 |
| 2 | 0.9264667E 00 | -0.23105110E 00 | 0.44125110E 00 | 0.16999180E 01 |
| 3 | 0.2801110E 01 | 0.10179850E 00 | 0.1146470E 01 | 0.53994400E 00 |
| 4 | 0.1226320E 01 | -0.55276730E 00 | 0.53791700E 00 | 0.14031180E 01 |
| 5 | 0.1571590E 01 | -0.6506124E 00 | 0.4888110E 00 | 0.15448360E 01 |
| 6 | 0.12615450E 01 | -0.64443530E 00 | 0.44000510E 00 | 0.26881750E 01 |
| 7 | 0.1337630E 01 | 0.15544150E 00 | 0.49691140E 00 | 0.31098870E 01 |
| 8 | 0.21316590E 01 | 0.37282260E 00 | 0.3575490E 00 | 0.33598000E 01 |
| 9 | 0.12787550E 01 | 0.45240710E 00 | 0.13319540E 00 | 0.3617410E 01 |
| 10 | 0.32566260E 01 | 0.67363430E 01 | 0.12545100E 01 | 0.13402500E 02 |
| 11 | 0.3483530E 01 | -0.11555040E 00 | 0.23440320E 01 | 0.97595720E 01 |
| 12 | 0.8156570E 00 | -0.41601520E 00 | 0.12481450E 00 | 0.40001770E 01 |
| 13 | 0.4481475E 01 | -0.45666600E 01 | 0.1666760E 01 | 0.52056170E 01 |
| 14 | 0.40866730E 01 | -0.710770E 00 | 0.10350130E 00 | 0.34459470E 01 |
| 15 | 0.5407460E 00 | 0.15619530E 01 | 0.14242490E 00 | 0.37068560E 01 |
| 16 | 0.50447490E 00 | 0.95025710E 01 | 0.12841140E 00 | 0.39342370E 01 |
| 17 | 0.71159130E 00 | 0.71276520E 01 | 0.26412150E 00 | 0.26581360E 01 |
| 18 | 0.9217670E 00 | 0.5444440E 00 | 0.13664270E 00 | 0.37931910E 01 |
| 19 | 0.1954097E 01 | 0.19471520E 00 | 0.15544580E 00 | 0.35204980E 01 |
| 20 | 0.5268117E 01 | -0.7126690E 01 | 0.1177970E 00 | 0.22135550E 01 |
| 21 | 0.1532771E 01 | -0.531151E 00 | 0.95032630E 01 | 0.46624900E 01 |
| 22 | 0.2030645E 01 | -0.5195594E 00 | 0.14980270E 00 | 0.33402660E 01 |
| 23 | 0.3527130E 01 | -0.3304737E 00 | 0.49661670E 00 | 0.30594430E 01 |
| 24 | 0.6784661E 00 | -0.41406300E 00 | 0.15749490E 01 | 0.47996630E 01 |
| 25 | 0.5626614E 00 | 0.158402E 00 | 0.1357616E 00 | 0.38436290E 01 |
| 26 | 0.1587415E 01 | 0.677356E 00 | 0.3793720E 00 | 0.14000640E 01 |
| 27 | 0.2022550E 01 | 0.219250E 00 | 0.7465240E 00 | 0.13266080E 01 |
| 28 | 0.25594130E 01 | -0.11616150E 01 | 0.62874250E 00 | 0.60675660E 00 |

表3A4-6 水温流量クロスステル分析

| FREQUENCY | WATER | TEMP | Q | Q-EXC | RELATIVE ERROR |
|-----------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| 0 | 0.7056430E-04 | 0.0 | 0.70511740E-00 | 0.717673030E-00 | 0.28951170E-00 |
| 1 | 0.7017120E-03 | -0.3431050E-00 | 0.70032110E-00 | 0.70032110E-00 | 0.13014190E-01 |
| 2 | 0.6740630E-03 | -0.41703920E-00 | 0.6740630E-00 | 0.6740630E-00 | 0.13014190E-01 |
| 3 | 0.4506750E-04 | 0.79424090E-01 | 0.4543210E-01 | 0.4543210E-01 | 0.13014190E-01 |
| 4 | 0.3200530E-03 | -0.1894400E-00 | 0.3177770E-00 | 0.3177770E-00 | 0.13014190E-01 |
| 5 | 0.1014550E-04 | -0.100370E-00 | 0.1002870E-00 | 0.1002870E-00 | 0.13014190E-01 |
| 6 | 0.0893160E-03 | -0.7004420E-00 | 0.0851220E-00 | 0.0851220E-00 | 0.13014190E-01 |
| 7 | 0.5014010E-03 | 0.1013020E-01 | 0.5079070E-01 | 0.5079070E-01 | 0.13014190E-01 |
| 8 | 0.1684250E-04 | 0.1105350E-01 | 0.16351450E-00 | 0.16351450E-00 | 0.13014190E-01 |
| 9 | 0.1553210E-04 | 0.103940E-01 | 0.15117020E-00 | 0.15117020E-00 | 0.13014190E-01 |
| 10 | 0.13281890E-04 | 0.10150130E-01 | 0.13210750E-00 | 0.13210750E-00 | 0.13014190E-01 |
| 11 | 0.1672650E-04 | 0.30894420E-00 | 0.0297800E-00 | 0.11542780E-01 | 0.13014190E-01 |
| 12 | 0.15449200E-04 | -0.7074750E-01 | 0.50000230E-00 | 0.13014190E-01 | 0.13014190E-01 |
| 13 | 0.1104160E-04 | 0.1059140E-00 | 0.50845150E-00 | 0.14853220E-01 | 0.13014190E-01 |
| 14 | 0.9807743E-03 | -0.1074760E-00 | 0.50511430E-00 | 0.14952720E-01 | 0.13014190E-01 |
| 15 | 0.0000000E-00 | 0.1044440E-01 | 0.11140870E-00 | 0.12603270E-01 | 0.13014190E-01 |
| 16 | 0.10755620E-04 | 0.1001650E-01 | 0.11752480E-00 | 0.17842490E-01 | 0.13014190E-01 |
| 17 | 0.1015850E-04 | 0.0839550E-00 | 0.24031330E-00 | 0.26844350E-01 | 0.13014190E-01 |
| 18 | 0.44034310E-04 | 0.11715010E-01 | 0.40474080E-01 | 0.7553330E-01 | 0.13014190E-01 |
| 19 | 0.1120000E-04 | 0.07765020E-01 | 0.22642170E-00 | 0.27922580E-01 | 0.13014190E-01 |
| 20 | 0.44867270E-04 | 0.11570030E-01 | 0.62336220E-00 | 0.11742170E-01 | 0.13014190E-01 |
| 21 | 0.1049170E-04 | 0.74042190E-00 | 0.5315050E-00 | 0.5522740E-01 | 0.13014190E-01 |
| 22 | 0.20244240E-04 | 0.5534530E-00 | 0.5175780E-00 | 0.14584390E-01 | 0.13014190E-01 |
| 23 | 0.0257140E-03 | 0.1454050E-00 | 0.10047220E-00 | 0.45150920E-01 | 0.13014190E-01 |
| 24 | 0.11130550E-04 | 0.12424070E-01 | 0.34632150E-00 | 0.1986850E-01 | 0.13014190E-01 |
| 25 | 0.73078050E-03 | 0.9411342E-00 | 0.9773740E-00 | 0.19403050E-01 | 0.13014190E-01 |
| 26 | 0.05867750E-04 | 0.5003710E-00 | 0.47372570E-00 | 0.15922270E-01 | 0.13014190E-01 |
| 27 | 0.0391240E-03 | 0.3622510E-00 | 0.24218490E-00 | 0.26721740E-01 | 0.13014190E-01 |
| 28 | 0.1817020E-04 | 0.1228290E-00 | 0.5935040E-00 | 0.1249990E-01 | 0.13014190E-01 |

第4章 線形モデルによる水質指標の特性の解析

| | | |
|----|-------------|-----|
| 1 | 概 論 | 116 |
| 2 | 線形モデルの意義 | 116 |
| 3 | 実験条件とデータ | 118 |
| 4 | 線形モデルの作製と精度 | 121 |
| 5 | 解析結果 | 128 |
| 6 | 線形モデルの仮定の検討 | 138 |
| 7 | 線形モデルの批判 | 141 |
| 8 | 総 括 | 144 |
| 9 | 参考文献 | 145 |
| 10 | アペンデックス | 146 |

1 概 論

前章において、沈殿池と曝気槽が入力である水量や水質の変動をどのように出力に変換するかを検討した。これにより、温度や処理水量など外部条件のどのような変動が出力である処理水の水質にどのように影響するかを定量的に表わすことができた。しかしながら前章では、外部条件と処理水とは一対一で対応する場合を前提にしているので、このままでは、多くの水質指標と外部条件との関係がモデル化されたとはいえない。したがって、曝気槽や沈殿池の機能と水質指標との因果関係をもっと具体的に表わすことが必要である。

本章は数種類の外部条件と活性汚泥法による浄化の結果生じた処理水質との関連を数式化することを試み、それによって、活性汚泥法の機能を検討することを目的としたものである。

処理水の水質を表わす水質指標として透視度とBODを選んだ。前者は操作がきわめて簡便であるにもかかわらず、浄化の程度の明瞭な尺度になるという理由のため、現場でもっとも広く用いられている水質指標である。後者のBODは、いうまでもなく、いろいろの意味でもっとも重要な水質指標である。

2 線形モデルの意義

独立変数(x)としての外部条件と従属変数(y)としての浄化水の水質指標とはつぎのような線形であらわすことができると考える。

$$y = \rho_0 x + \rho_1 x_1 + \rho_2 x_2 + \cdots + \rho_p x_p + u \cdots 4-1$$

式(4-1)が成立するさいの条件はつぎのようになっている。¹⁾

- ① 誤差 u と独立変数 x_j ($j=1\cdots p$) は独立である。
- ② u は平均値 0、分散が一定の正規分布をする。
- ③ x_j は確率誤差を含まない変数である。
- ④ u は時間の経過と独立である。
- ⑤ x_j は相互に独立である。

式 (4-1) の意味するところは、「右辺の x_j ($j=1\cdots p$) であらわした活性汚泥法の外部条件すなわちエアレーション時間、混合液浮遊物、水温、原水 BOD_5 などの一次結合で、左辺の y に相当する処理水の水質をあらわす」である。 y は処理水 BOD 、透視度などである。 u は式 (4-1) に伴う一切の誤差を含んでいる。 $x_1, x_2\cdots x_p$ 以外の変数を見捨てたことや、一次式を仮定したことと起因する誤差などがそれである。誤差を独立した一つの項にしたことがこのモデルの第一の特徴である。この誤差項を検討することにより、モデルの精度を判定することができる。

また式 (4, 1) の右辺の $\beta_0 x_0 + \cdots \beta_p x_p$ は前章で述べた規則成分の部分に、 u は残差の部分に相当するものと考えることができる。前章では変動の周期が変わるとその影響の伝わり方も相違することを明らかにした。これによると、長周期の変動は例外なくその影響が処理水質に伝わるので、本章ではすべての独立変数を長周期の変動としてインプットすることにした。

ふつう一分子反応式に従うと考えられている生物反応の結果、生じた処理水 BOD_5 などを、1次式で表現することは一見不合理に思われるが、①実用になる狭い処理条件の範囲内では、直線近似でも曲線近似でも大差ない。②複雑な関数式でも、ある値の回りに多項式展開による近似をするとき、実験誤差や測定誤差の大きさに比し有意と思われる範囲内で次数を決定すれば十分である。③線形モデルの係数を決定することは、複雑な関数に調和関数を

当てはめることに等しい。などの理由がつく。したがって、線形モデルは見かけよりもずっと一般的な性質をもっているのも、実用上十分な精度を持つと考えられる。

しかしながら測定値がえられた条件を大巾にはずれた別のケースに、別のところで求めた線形モデルを適用すると、従属変数の推定値に大きく誤差を生じる恐れがある。

3 実験条件とデータ

ところで前記①②…⑤の条件のうち①～④は、あとで述べるように、通常の都市下水処理場でデータを集めても、ほぼ満されるが、⑤の条件には問題がある。⑤の条件とは右辺の変数、すなわち原水温度や原水CODなど、相互間に相関があってはならないことを意味するが、前章の結果からも明らかに、この条件は成立しがたい。つまり現実の下水処理物の実測データはそのままでは本章の目的に使用しがたいので、特別の計画にもとづいて、データの収集しなければならないように決めた。この目的のため特別にパイロットプラントを建設した。この概要を本論文の著者と同時にこの装置を用いた勝又³⁾がまとめているので以下に引用する。

(1) パイロットプラントの概要

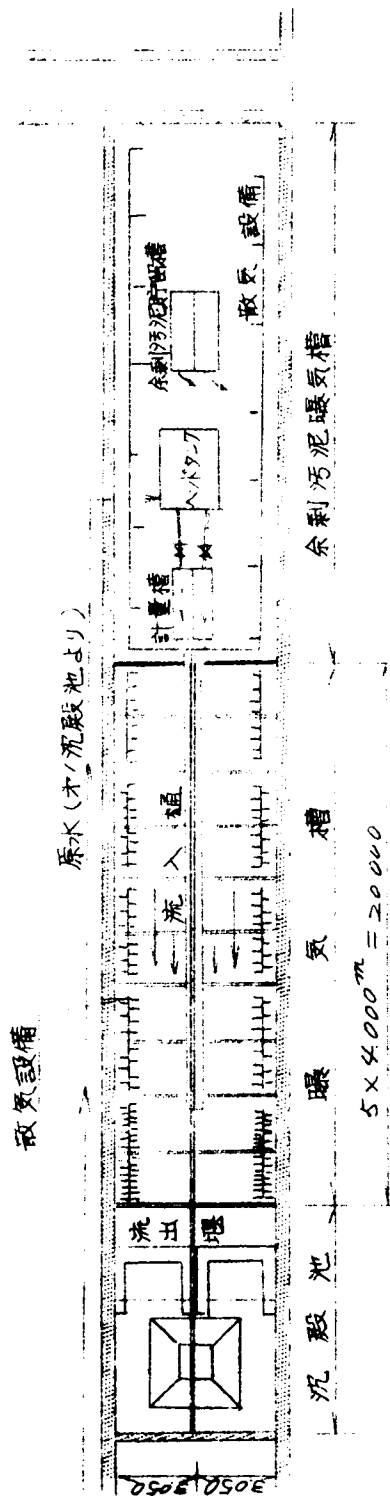
本実験に使用したプラントは、森ヶ崎処理場の最初沈殿池を改造したものである。最初沈殿池を中間壁で、縦方向に二分し、A、Bの2系列とした。各系列ともに横に壁を入れて仕切り、好気性汚泥消化タンク、エアレーションタンク、フロキュレーター、最終沈殿池を設けた。

エアレーションタンクは、図(4-1)に示したように両系列ともにそれぞれ同一形状のチャンパー(a～e)が直列に連なっており、流入下水

図4-1 バイロプラント

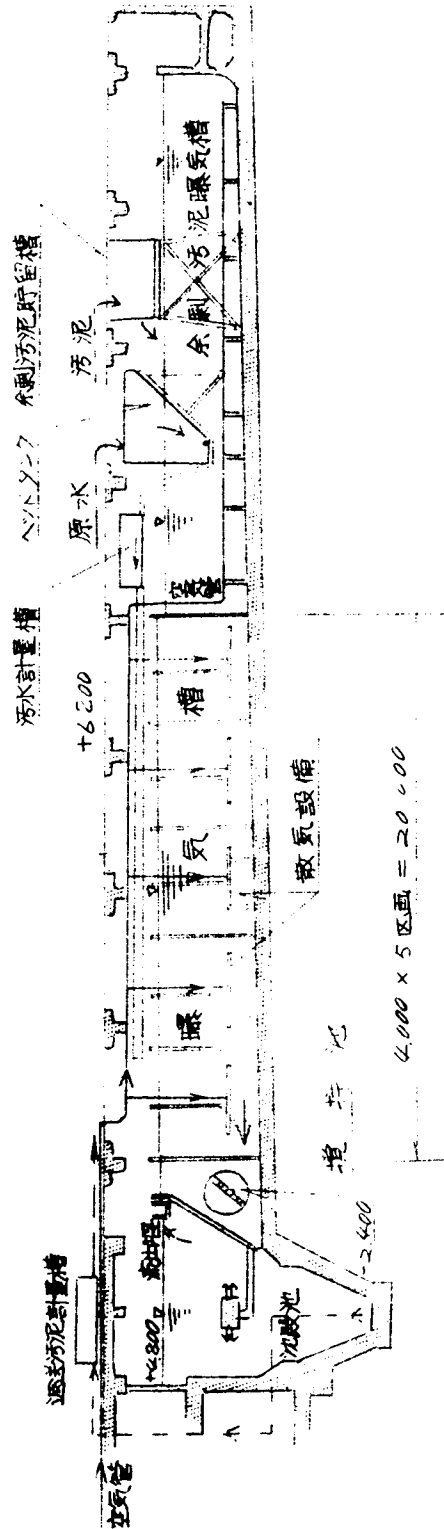
平面図

縮尺 1/300

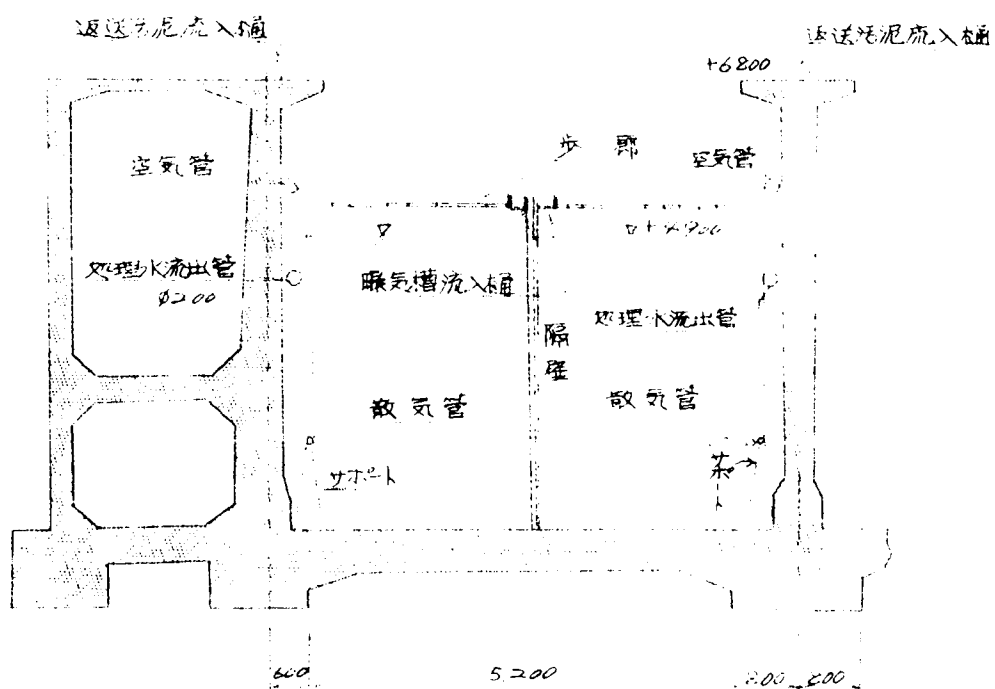


縦断面図

縮尺 1/300



断面图 1/100



量、返送汚泥量をそれぞれ $40 \text{ m}^3/\text{時}$ 、 $12 \text{ m}^3/\text{時}$ 、とすれば、各チャンパーは約1時間の滞流時間をもつ。これは、実際の処理施設におけるエアレーションタンクの各回路に対応させるものである。エアレーション方法は、片側旋回流式で、各チャンパーごとに30本の散気管がある。最終沈殿池はホッパー形であり、処理水量を $40 \text{ m}^3/\text{時}$ 、返送汚泥量を $12 \text{ m}^3/\text{時}$ とすれば、沈殿時間は、1.2時間、水面積負荷 $71 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{日}$ 、越流ぜき負荷 $104 \text{ m}^3/\text{m}/\text{日}$ である。

(2) バイロットプラントの運転方法

- ① 揚水ポンプで生下水をヘッドタンクにくみ揚げ、水頭を一定にし、制水弁で流量の調整を行ない、計量タンクに入れる。
- ② 計量された生下水は、流入樋をとおって、実験条件に応じ、エアレーションタンク a～e チャンパーのいずれかに導かれる。
- ③ 返送汚泥は、汚泥計量タンクで計量後、生下水とともにエアレーションタンクに入れる。
- ④ 各チャンパーの送風量が均一になるように調整を行ないながら、全空気を、 $120 \text{ m}^3/\text{時}$ に合わせる。
- ⑤ 毎日4回SVおよびMLSSの測定を行ない、エアレーションタンク内の活性汚泥量を一定に保つように返送汚泥量を調整する。
- ⑥ このようにして、2週間の予備運転を行ない、活性汚泥を実験条件に馴致させた後、測定を行なった。

(3) 実験計画

式(4-1)の右辺の独立変数として、エアレーション時間、活性汚泥濃度、水温、原水BODの4者としたが、原水BODだけは人為的に制御できないので、実験計画法で条件のわりつけをしなかった。独立変数とその

条件を下に示す。

| 独立変数 | 条 件 | | |
|---------------|---------------|---------------|---------------|
| エアレーション時間 | 1 時間 | 2 時間 | 3 時間 |
| 活性汚泥濃度 (mg/l) | 1,000 | 2,000 | 3,000 |
| 水 温 | 高 温
(25°C) | 中 温
(18°C) | 低 温
(12°C) |
| 原水BOD | ラ ン ダ ム | | |

3 種類の独立変数が、それぞれ 3 条件に変わった場合の効果を判定するためには $27 (3^3 = 27)$ 回の実験を繰り返す必要があるが、コックスランの実験計画法にもとづき、実験条件をラテン方格に配置すれば、実験の回数を大巾に少なくすることができる。このようにして、実験条件を表 (4-1) のように決定した。

測定は次の項目について行なった。

生 下 水……水温、pH、透視度、浮遊物、COD、BOD、~~タン~~白質、

炭水化物

生下水炉液……COD、BOD、~~タン~~白質、炭水化物

処 理 水……水温、pH、透視度、浮遊物、COD、BOD、~~タン~~白質、

炭水化物

処理水炉液……COD、BOD、~~タン~~白質、炭水化物

エアレーションタンク混合液……DO、SV、MLSS、MLVSS、

~~タン~~白質、炭水化物、脱水素酵素活性

えられたデータは本章アペンデックスの表 4 A 1・1 ~ 4 A 1・5 に収めた。表 4-2 はその一部分を取り出したものである。

表 4-1 実 験 条 件

| 実験番号 | エアレーション時間(時間) | 活性汚泥濃度
(mg/l) | 水 温
(°C) | 実 験 期 間
(昭和年月日) |
|-------|---------------|------------------|-------------|-------------------------|
| No. 1 | 2 | 3,000 | 低温 (8~13) | 44. 3. 10 ~ 44. 3. 29 |
| No. 2 | 3 | 2,000 | " " | 44. 2. 10 ~ 44. 3. 7 |
| No. 3 | 1 | 1,000 | " " | 43. 5. 17 ~ 43. 6. 8 |
| No. 4 | 3 | 3,000 | 中温 (13~19) | 43. 10. 28 ~ 43. 11. 22 |
| No. 5 | 2 | 1,000 | " " | 43. 6. 10 ~ 43. 7. 9 |
| No. 6 | 1 | 2,000 | " " | 43. 4. 23 ~ 43. 5. 16 |
| No. 7 | 1 | 3,000 | 高温 (19~24) | 43. 8. 5 ~ 43. 8. 30 |
| No. 8 | 2 | 2,000 | " " | 43. 7. 10 ~ 43. 8. 3 |
| No. 9 | 3 | 1,000 | " " | 43. 9. 16 ~ 43. 10. 7 |

4 モデルの推定と精度

(1) 係数 β の計算

式(4-1)の関係は、N個のサンプルについても成立するから行列記号で書きかえると式(4-2)のようになる。

$$y = X\beta + u \dots\dots\dots 4-2$$

ゴシック体の小文字はベクトル、大文字はマトリックスを表わす。yは、例を処理水BOD₅にとると、処理水のBOD₅の測定値をその数Nだけ1から並べたものに相当する。Xはyに対応して、エアレーション時間、MLSSなど式(4-2)の右辺の変数それぞれを1からNまで並べたものである。

表 4-2 オリジナルデータ

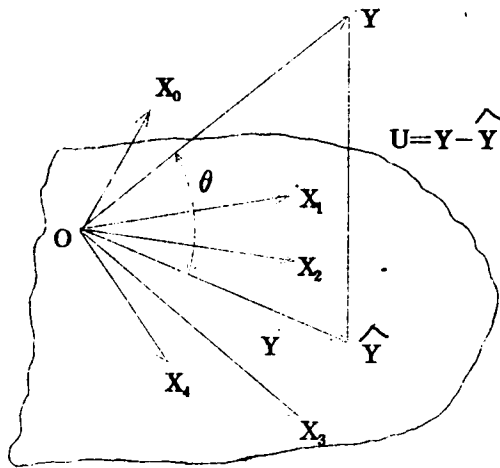
| データ番号 | 独立変数 | | | | | 従属変数 | |
|-------|-------|----------------|-----------------------------------|--------------------------------|------------------------------|------------------------|--|
| | x_0 | x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | y_1 | y_2 |
| | | エアレーション
(時) | 原水
BOD
(mg/ℓ) | 原水温度
($^{\circ}\text{C}$) | MLSS
(mg/ℓ) | 透視度
(cm) | BOD ₅
(mg/ℓ) |
| 1 | 1 | 2 | 72 | 13 | 1,630 | 19 | 12 |
| 2 | 1 | 2 | 68 | 13.5 | 1,790 | 19 | 14 |
| 3 | 1 | 2 | 79 | 14 | 1,566 | 19 | 20 |
| 4 | 1 | 3 | 98 | 10 | 1,742 | 42 | 6 |
| 5 | 1 | 3 | 74 | 11 | 1,786 | 46 | 10 |
| 6 | 1 | 3 | 84 | 18 | 2,874 | 65 | 19 |
| 7 | 1 | 3 | 89 | 18 | 1,806 | 50 | 15 |
| 8 | 1 | 3 | 79 | 17 | 3,556 | 36 | 11 |
| 9 | 1 | 3 | 71 | 16 | 2,534 | 40 | 7 |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| 90 | 1 | 1 | 68 | 19 | 485 | 21 | 16 |

(x_0 は計算の都合上つけ加えた、すべて1である)

処理水BOD₅を例にとって、そのモデルの右辺の変数の係数を求める方法を説明すると次のようになる。

実験により、処理水のBOD₅はN個測定されているから、ベクトル y は、N次元空間にひとつの点Yを定義する。いいかえると処理水BOD₅というのは、N次元空間において個々の測定値を元とする点であらわすことができる。マトリックス X は、同じN次元空間に $x_0, x_1, x_2, \dots, x_D$ をそれぞれD+1個(x_0 は計算の都合上つけ加えたもので、Nの元がすべて1

図4-1 線形モデル推定の幾何学的意味



であらわされる点を示す。)

の点を定義する。つまり、N個の処理水 B O D₅を得たときの処理条件であるエアレーション時間、MLSS、原水温度、原水 BODなどもそれぞれ N 個ずつ測定しているから、これら処理条件も同じ空間の点として表わすことができるわけである。上例では、点 x_1

がエアレーション時間を、 x_2 が MLSS に相当 etc、というわけである。 p は線形モデル右辺の独立変数の数、つまりマトリックス X の行の数を示す。

このようにしてできた $p+1$ 個の点は、 N 次元空間において $p+1$ 次元の部分空間を定義する。この $p+1$ 本の軸が $x_0, x_1, x_2, \dots, x_p$ の各点を通るとしたとき、この部分空間を通る直線の方程式は次のようになる。

$$\frac{x_0 - m_0}{\hat{\beta}_0} = \frac{x_1 - m_1}{\hat{\beta}_1} = \dots = \frac{x_p - m_p}{\hat{\beta}_p} \dots\dots\dots 4-3$$

ただし、 $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p$ は $p+1$ 本の軸に対するこの直線の方法余弦である。式 (4-3) が原点を通るときは、 $m_0, m_1, m_2, \dots, m_p$ はすべて 0 である。 x_0, x_1, \dots, x_p 各点から求めた直線への正射影は $\hat{\beta}_0 x_0, \hat{\beta}_1 x_1, \hat{\beta}_2 x_2, \dots, \hat{\beta}_p x_p$ であるが、この直線上のある点 \hat{Y} を次のようにあらわす。

$$\hat{Y} = \hat{\beta}_0 x_0 + \hat{\beta}_1 x_1 + \hat{\beta}_2 x_2 + \dots + \hat{\beta}_p x_p \dots\dots\dots 4-4$$

点 \hat{Y} は下水の処理条件をあらわす $p+1$ の点を 1 個の点に変換したもの

に相当する。

点 \hat{Y} を点 Y の推定値にしようとするとき、両点の距離が小さいほど好ましい。すなわち点 Y から下した垂線の足上に点 \hat{Y} があるように方向余弦 $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p$ を決定すれば、点 \hat{Y} が点 Y の最良推定値になることがわかる。式 (4-4) をベクトル記号を用いて書きかえると式 (4-4)' のようになる。

$$y = X\hat{\beta} \dots\dots\dots 4-4'$$

上でのべた垂直の条件はベクトル y と差ベクトル $y - \hat{y}$ とのスカラー積をゼロに等しいとおけば満される。これを数式であらわすと式 (4-5) のようになる。

$$\hat{y}'(y - \hat{y}) = 0 \dots\dots\dots 4-5$$

\hat{y} は \hat{y} の転置ベクトルである。式 (4-4)' を式 (4-5) に代入して変形すると式 (4-6) をえる

$$(X\hat{\beta})'(y - X\hat{\beta}) = 0$$

$$(X'y - X'X\hat{\beta}) = 0$$

$$\therefore \hat{\beta} = (X'X)^{-1}X'y \dots\dots\dots 4-6$$

処理条件の観測値からえたマトリックス X から積和行列を求め、その逆行列を計算し、それに X の転置したもの、および y に相当する処理水 BOD 。ベクトルをかけ合わせば、線形モデル右辺の係数が求められることを式 (4-6) は示している。

以上を要約すると、 $y - \hat{y}$ は誤差ベクトルで、 $N - p - 1$ 次元部分空間を定義するから、線形モデルの右辺の係数を求めることは、 N 次元のデータ空間を、 $p + 1$ 次元の予測空間と、 $N - p - 1$ 次元の誤差空間にわけ、この予測空間における直線の方法余弦を、誤差ベクトルと直交するという条

件の下で、求めることに等しい。

代数的には、式(4-7)を最小にする条件式(4-8)を解いても同じ結果が得られる。

$$Q(\beta) = \sum_{i=1}^N [Y_i - (\beta_0 x_{0i} + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \beta_3 x_{3i} + \beta_4 x_{4i})]^2 \dots\dots\dots 4-7$$

$$\partial Q(\beta) / \partial \beta = 0 \dots\dots\dots 4-8$$

式(4-6)および式(4-8)いずれの解を求めるのもめんどろな計算がつかまとうので、コンピューターの導入が必須の条件である。プログラミングに際して、マトリックスは2次元配列、ベクトルは1次元配列にできるので、式(4-6)の方がプログラミングがしやすく、系統的に計算を遂行できる。また式(4-6)のように、幾何学的に考えた方が、線形モデルの係数の意義が理解されやすい。

(2) 係数の選択²⁾

式(4-6)を用いて算定した $\hat{\beta}$ は有限のサンプル数に基づいているから、サンプル数が変わったときや、別に集めたサンプルを用いたときには、同様の手順にしたがっても今とは違った値の $\hat{\beta}$ になる。つまり $\hat{\beta}$ は無限の数のサンプルを用いながざり避けることのできない変動を含んでいる。この変動が大きすぎると母数 β の推定値としての $\hat{\beta}$ の値はなくなってしまふ。たまたまそのような $\hat{\beta}$ を得たにすぎず、次にはどう変わるかわからないからである。そこで、前述の方法で求めた $\hat{\beta}$ に対する母数 β が分布する区間を確率的に求め、その区間が0を含むのは好ましくないを考える。これは母数が0になる可能性を意味するからである。

$$(\beta - \hat{\beta}_j) / \sigma(\hat{\beta}_j) \dots\dots\dots 4-9$$

この区間の算定は式(4-9)がt分布することを利用する。

ただし

$$\sigma^2(\hat{\beta}_j) = \{1/(N-Q-1)\} S^2(u) \text{TR}_j(X'X)^{-1} \dots\dots\dots 4-9'$$

$S^2(U)$ は $\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2$ または $y'y - \hat{\beta}'X'y$ を用いて求める。

$\text{TR}_j(X'X)^{-1}$ は X の積和行列の逆行列の対角要素を j に対してとる。

区間は式(4-10)のようになる。

$$\hat{\beta}_j - t_{\alpha} \sigma(\hat{\beta}_j) < \beta_j < \hat{\beta}_j + t_{\alpha} \sigma(\hat{\beta}_j) \dots\dots\dots 4-10$$

5%の確立誤差に対する $t_{0.05}$ は 1.97 であるから、式(4-10)が95%の信頼限界で0を含まない条件は式(4-11)である。

$$1.97 < \hat{\beta}_j / \sigma(\hat{\beta}_j) \quad j=1 \sim 4 \dots\dots\dots 4-11$$

式(4-6)を用いて、はじめ、すべての $\hat{\beta}_j$ を計算したのち、式(4-9)を満足しない $\hat{\beta}_j$ に対応する X_j を全部除去し、再び最初から式(4-6)を用いて β を計算し、線形モデルの右辺の係数にするわけである。

(3) モデルの精度²⁾

図(4-1)から明らかなように、点 Y と点 \hat{Y} との距離が小さいほど、すなわち \hat{y} と y 両ベクトルのなす角度が小さいほど、 \hat{y} は y のよい近似値である。 θ のかわりに $\cos\theta$ を用いると、 $\cos\theta$ が1のとき \hat{y} は y に一致し、 $\cos\theta$ が0のとき両者は無関係になる。 $\cos\theta$ は1から0の範囲の値をとり、1に近いほど \hat{y} は良好な近似値というわけである。 $\cos\theta$ はこのように、線形モデルの精度の指標になる。点 \hat{Y} は Y から下した垂線上にあるから、 \hat{Y} は Y の正射影である。ベクトルの元点を \bar{Y} (処理水 BOD₅ の測定値の算術平均を元とするベクトル \bar{y} の先端) へ移動したとすれば、 $\bar{Y}Y$ の長さは $|\bar{y} - \bar{y}|$ 、 $\bar{Y}\hat{Y}$ は $|\bar{y} - \hat{y}|$ であるから、式(4-12)をえる。

$$\cos \theta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}} \quad \cdots 4-12$$

$$\cos^2 \theta = \frac{\sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2} \quad \cdots 4-13$$

式(4-13)は式(4-12)を2乗したものである。式(4-13)は、モデルが与える推定値の平均値からの偏差の2乗和を、実測値の平均値からの偏差の2乗和でわったものである。 $\cos^2 \theta$ は、換言すると、測定値の全変動のうち、モデルが説明できる部分の比を示す指標とみることができる。

(4) モデルの存在の意義²⁾

測定値の全変動からモデルで説明できる部分を引いた残りは、未知変動、つまり誤差変動である。

$$\text{全 変 動: } \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2 \quad \cdots 4-14$$

$$\text{推定値の変動: } \sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - \bar{y})^2 \quad \cdots 4-15$$

$$\text{誤 差 変 動: } \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2 - \sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - \bar{y})^2 \quad \cdots 4-16$$

誤差変動が説明できる推定値の変動に比べて大きすぎると、推定値は誤差にかくれてしまうので、モデルの意義がなくなる。

推定値の変動および誤差変動を自由度でわったものの比は、F分布することがわかっているので、通常の分散分析によって、モデルの与える推定値が、誤差に比べて意味があるかどうか、すなわちモデルの存在価値の判定を下すことができる。

$$F = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - \bar{y})^2 / p}{(N - p - 1)} \right\} \div \left\{ \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2 - \sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{(N - p - 1)} \right\} \quad \dots\dots\dots 4 - 17$$

われわれの場合 $N = 90$ 、 $p = 4$ 、であるから、判定の確率を 95%とすれば $F[4, 90 - 4 - 1, 0.95] = 2.68$ であるので、式(4-17)が 2.68 より大きいときモデルの意義があると判定を下すことにする。

5 結 果

(1) 処理水透視度

表(4-3)は、右辺の独立変数として、表(4-2)に示したように、エアレーション時間、原水BOD、原水温度、曝気槽混合液を選んだとき、処理水透視度をあらわす線形モデルを求める計算の第一回目の結果を示したものである。この表の「係数」は独立変数の係数を、「係数の標準偏差」とは式(4-9')で計算される $\sigma^2(\hat{\beta}_j)$ の平方根を、 t 値は式(4-9)の値を、偏相関係数とは各独立変数の従属変数、すなわち透視度に対する相関係数を、残差平方和は式(4-16)の値を、 $\cos^2 \theta$ は式(4-13)の値を、 F 値は式(4-17)の値を、残差の標準誤差とは式(4-16)の値の平方根を自由度($N - p - 1$)でわった値を、それぞれ示す。ダービ―ワトソン比は後述する。ところで、表(4-3)において、原水BODの t 値は -0.09 であり、これは95%の信頼限界の t 値 1.977 より小さい。原水BODは式(4-12)の条件を満たさない。そこで、原データの行列から、原水BODのデータをすべて除去して、再度同様の計算を試みる。これはいわゆるバックワー

表 4-3 透視度を表す線形モデル (第 1 回)

| 変 数 | 係 数 | 係数の標準誤差 | t 値 | 偏相関係数 |
|-----------------|---------|-----------------------|-------|---------|
| 定 数 | -41.92 | 9.208 | | |
| 曝 気 時 間 | 19.86 | 1.554 | 12.77 | 0.8142 |
| 原 水 B O D | -0.008 | 0.088 | -0.09 | -0.0103 |
| 原 水 温 度 | 2.52 | 0.370 | 6.82 | 0.5997 |
| M L S S | -0.0036 | 0.001 | -2.49 | -0.2637 |
| 残差平方和 | | 0.1013×10^5 | | |
| $\cos^2 \theta$ | | 0.701 | | |
| F 値 | | 48.77 | | |
| 残差の標準誤差 | | 0.11048×10^2 | | |
| ダービンワトソン比 | | 1.921 | | |

ドエリミネーションステップワイズ法と称される方法である。こうしてえた結果を表 (4-4) に示した。

表 (4-4) の偏相関係数から次のことがわかる。処理水透視度には、1) エアレーション時間がもっとも大きい影響力をもち、2) ついで流入原水の温度の影響が大きい、3) 混合液浮遊物 (活性スラッジ濃度) は前 2 者より影響力は小さいが、マイナスの影響をもっている。エアレーション時間が長いほど、原水温度が高いほど、MLSS が小さいほど、処理水透視度は大きくなるということであるが、これは一般的常識に等しい。

最終的に、処理水透視度をあらわす線形モデルは表 (4-4) の係数を用いて式 (4-18) のようになる。

表(4-4) 処理水透視度をあらわす線形モデル(最終回)

| 変数 | 係数 | 係数の標準誤差 | t 値 | 偏相関係数 |
|---------|----------|----------|--------|---------|
| 定数 | -42.3169 | 8.127706 | | |
| 曝気時間 | 19.8286 | 1.49413 | 13.271 | 0.8228 |
| 原水温度 | 2.5254 | 0.36540 | 6.911 | 0.6021 |
| M L S S | -0.0036 | 0.00145 | -2.506 | -0.2638 |

残差平方和…………… 0.10131×10^5

$\cos^2 \theta$ …………… 0.7015

F 値 …………… 65.812

残差の標準誤差…………… 0.1098×10^2

ダービンワトソン比…………… 1.9218

$$T_r = -42.31 + 19.82 x_1 + 2.52 x_3 - 0.00365 x_4 \quad \dots\dots\dots (4-18)$$

T_r : 処理水透視度 (cm)

x_1 : エアレーション時間 (時)

x_3 : 原水温度 (°C)

x_4 : 混合液浮遊物 (mg/l)

(2) B O D

表(4-4)～表(4-6)に処理水BODについて同様の解析の結果を示した。透視度と同様、エアレーション時間、原水BOD、原水温度、混合液浮遊物を右辺の独立変数にして解析をスタートしたが、混合液浮遊物と原水温度の両変数は除去され、エアレーション時間と原水BOD₅とだけが線形モデルの変数に組み入れられた。

表 4 - 4 処理水 B O D を示す線形モデル (第一回)

| 独 立 変 数 | 係 数 | 係数の標準誤差 | t 値 | 偏相関係数 |
|-----------------|----------|---------|--------|--------|
| 定 数 | 17.093 | 3.515 | | |
| 曝 気 時 間 | -3.234 | 0.594 | -5.448 | -0.513 |
| 原水 B O D | 0.081 | 0.034 | 2.414 | 0.256 |
| 原 水 温 度 | -0.131 | 0.141 | -0.931 | -0.102 |
| M L S S | -0.00044 | 0.0005 | -0.804 | -0.088 |
| <hr/> | | | | |
| 残差平方和 | 1476.26 | | | |
| $\cos^2 \theta$ | 0.27 | | | |
| F 値 | 7.84 | | | |
| 残差の標準誤差 | 4.2 | | | |
| ダービンワトソン比 | 1.97 | | | |

表 4 - 5 処理水 B O D を示す線形モデル (第二回)

| 独 立 変 数 | 係 数 | 係数の標準誤差 | t 値 | 偏相関係数 |
|-----------------|---------|---------|-------|--------|
| 定 数 | 16.66 | 3.467 | | |
| 曝 気 時 間 | -3.22 | 0.592 | -5.44 | -0.511 |
| 原水 B O D | 0.081 | 0.034 | 2.41 | 0.255 |
| 原 水 温 度 | -0.154 | 0.138 | -1.11 | -0.121 |
| <hr/> | | | | |
| 残差平方和 | 1487.77 | | | |
| $\cos^2 \theta$ | 0.27 | | | |
| F 値 | 10.28 | | | |
| 残差の標準誤差 | 4.208 | | | |
| ダービンワトソン比 | 1.979 | | | |

表 4-6 処理水 BOD を示す線形モデル (最終回)

| 独立変数 | 係数 | 係数の標準誤差 | t 値 | 偏相関係数 |
|-----------------|--------|---------|--------|--------|
| 定数 | 13.75 | 2.285 | | |
| 曝気時間 | -3.06 | 0.575 | -5.325 | -0.500 |
| 原水 BOD | 0.076 | 0.033 | 2.284 | 0.240 |
| <hr/> | | | | |
| 残差平方和 | 1509.7 | | | |
| $\cos^2 \theta$ | 0.26 | | | |
| F 値 | 14.7 | | | |
| 残差の標準誤差 | 4.21 | | | |
| ダービンワトソン比 | 1.72 | | | |

表 (4-6) において、処理水 BOD₅ も、透視度と同様、エアレーション時間から最大の影響を受ける。しかし、偏相関係数は透視度に対する 0.822 に比べ、-0.500 であるから、エアレーション時間の処理水 BOD₅ に与える影響の大きさは、透視度に与える影響よりも小さい。原水 BOD の偏相関係数はプラスであるから、原水 BOD₅ が増加すれば処理水 BOD₅ も増加する。しかし、その影響力はエアレーション時間の半分にすぎない。

以上の結果を定量化したものは、(4-19) になる。

$$BOD = 13.75 - 3.06 x_1 + 0.07 x_2 \dots\dots\dots 4-19$$

BOD : 処理水 BOD (mg/l)

x_1 : 曝気時間 (時)

x_2 : 原水 BOD (mg/l)

式 (4-18)、(4-19) の適用は、オリジナルデータをえた実験条件 (エアレーション時間 1~3 時間、MLSS 500~2,500 mg/l

原水温度 $8 \sim 23^{\circ}\text{C}$ 、原水 BOD_5 $60 \sim 110 \text{mg}/\ell$) の範囲内に限定すべきである。極端な条件や水質の違う別のプラントへの適用は、無意味であることを忘れてはならない。

6 線形モデルの検討

(1) 線形モデルの仮定の検討

表(4-4)から処理水透視度をあらわす線形モデルの F 値は 65.8、高度に有意であることがわかる。また $\cos^2 \theta$ の値は 0.75 であるから、式(4-18)の線形モデルは測定値の全変動の 75% を説明する精度高い推定式である。

これに反し、一方、処理水 BOD_5 をあらわす式(4-19)の F 値は 14.75 であるから $F(95\%) = 3.0$ より十分大きい。このことは式(4-19)において、右辺の独立変数と従属変数との間に 95% の確率で連関が存在することを意味する。式(4-19)は意味のある推定値を与えることが統計的に決定されたことになるが、この F 値は透視度のそれ 65.8 よりもかなり低いので、推定値の分散に比べて、誤差分散が大きい。つまり、線形モデルによる予測の精度はそれほどよくないというわけである。このことは表(4-6)の $\cos^2 \theta$ が 0.26 であることを考えれば当然である。さらに詳しく上述のことを明らかにするために、図(4-3)と図(4-4)に透視度と BOD それぞれについて、実測値と線形モデルによる推定値とをプロットした。 BOD の推定値は BOD の実測値をうまく追隨していないことがわかる。

式(4-19)の線形モデルは、 BOD 実測値の全変動の 26% しか説明できない。換言すると 74% の未知変動が誤差として残っているわ

図 4 - 3 処理水透視度実測値（点線）と推定値（実線）

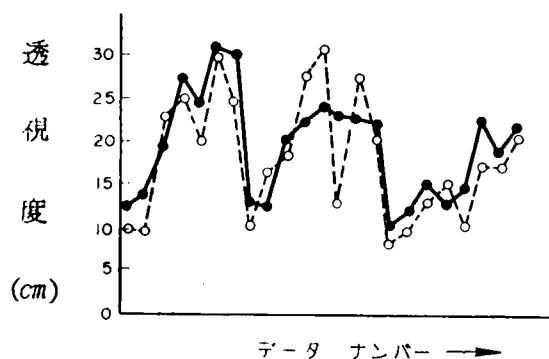
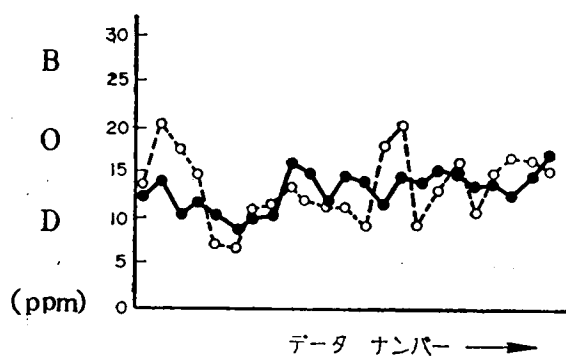


図 4 - 4 処理水 BOD₅ 実測値（点線）と推定値（実線）



けである。この原因は線形モデルの係数を導く際に認めた次の仮定が正しくないか、あるいは右辺の変数選択が不適当であったかいずれかによると思われる。1) 処理条件を示す独立変数と残差とは独立、2) 残差変動は平均値0、分散が一定の正規分布をする、3) 残差変動は時間的に独立、4) 1次式であらわすことができる。以下上述の仮定の検討をする。

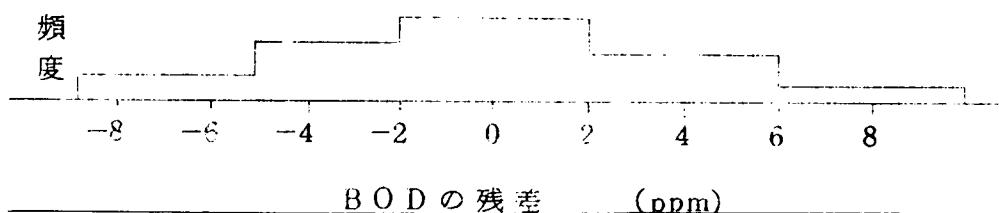
1) の仮定の検討

独立変数と残差(誤差)が直交するように式をとっているから、この仮定を統計的に検討できない。幾何学的に直交ということは、数学的に独立ということに等しい。つまり計算された誤差 u_i は独立変数に独立であるよう計算されているからである。

2) の仮定の検討

2) の仮定は残差 u_i の分布が $N(0, 1)^*$ に等しいかどうかを検定すればただちに達成することができる。簡単には u_i の分布をヒストグラムにあらわしてその分布形を調べてもよい。図(4-5)に処理水BODの u_i のヒストグラムを示した。巨視的には平均値0の正規分布からえられた標本分布であることを否定する理由は見当らない。

図4-5 処理水BOD₅の誤差のヒストグラム



*

$N(0, 1)$ は平均値0、分散1の正規分布を意味する

3) の仮定の検討

線形モデルの左辺が右辺の変数の影響を時間遅れで受けるとき、たとえば、処理水の BOD がそのときの水温や流入 BOD₅ ではなく、前日または数日前のそれらによって決定されるというようなときには、残差 u_i は自己相関をもつ。 u_i は相互に独立でなくなるわけである。この仮定の検討は、自己相関有無の問題に帰されるが、ダービーワトソン比と呼ばれるつぎの

$$d_w = \frac{N}{\sum_{i=2}^N} (u_t - u_{t-1})^2 / \sum u^2_i \quad \dots\dots\dots 4-20$$

式(4-20)を用いるのがもっとも簡単な検討法である。ダービーワトソン比は 2 を中心として対称分布する。

式(4-20)で計算される d_w が 1.5 ~ 2.5 の範囲にあるとき、 u_i に自己相関がないと判定することがすすめられている。表(4-6)にダービンワトソン比として(4-20)で計算した d_w が記入されている。明らかに誤差項相互間に自己相関がない。3) の仮定は満されている。

4) の仮定の検討

線形を仮定したことによって生じる誤差は、誤差項 u_i の中に含まれているので、 u_i を検討することにより、4) の仮定を検討することができる。

処理水 BOD を予測する線形モデル式(4-19)を用いて計算した y_i に対して誤差項 $u_i (= \hat{y}_i - y_i)$ をプロットした結果を図(4-6)に示した。 y_i の大小にかかわらず u_i は均一に分布している。このことは 4) の仮定が満されていることを意味する。さらに、図

図 4 - 6 BOD₅の推定値と誤差

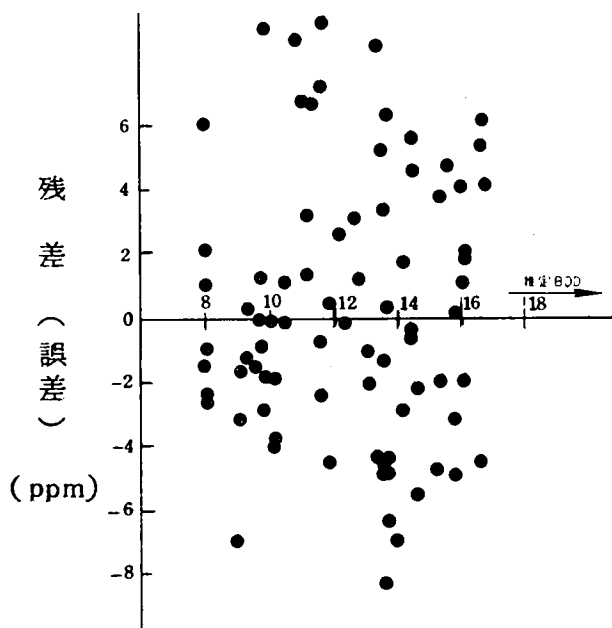
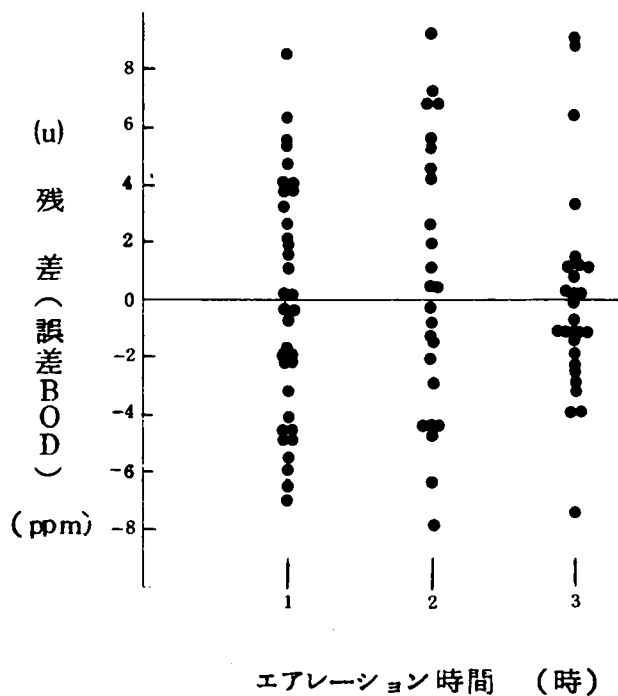


図 4 - 7 エアレーション時間と推定値の誤差



(4-7)においては、エアレーション時間 x_{1j} に対して u_j をプロットしたか、やはり u の分布は一定である。もしこの分布が一定であれば、線形モデルの右辺に、エアレーション時間の2乗や平方根、あるいは指数などをつけ加える必要があるが、図(4-6)からはこのような必要を見出せない。一般に、処理水のBODは、エアレーション時間の指数関数であらわされるといえるのは周知の事実であるが、1ないし3時間の範囲では、1次式で十分近似できることがわかる。

(2) 線形モデル独立変数の検討

以上の検討により線形の仮定が不適当という理由は見い出せない。したがって、処理水BOD₅をあらわすモデルによる予測値の推定精度が悪かったのは、右辺の独立変数の選択が不十分と考えなければならない。

混合液浮遊物を混合液揮発性浮遊物におきかえて、再び同じ手順をふんで、処理水BOD₅をあらわすモデルを作ってみた。MLSSは無機性の浮遊物も含んでいるので、エアレーションタンクのコントロールのパラメータにはMLVSSの方が良いと一般に考えられているからである。表(4-7)はこの解析結果を示す。MLVSSの処理水BODに対する偏相関係数は-0.171であるので、MLSSのそれ-0.0879よりやや高い。MLVSSの方が処理水のBOD₅に、より関係が深いといえるが、同表のt値は式(4-9)の条件を満たさないことがわかる。したがって、MLVSSも処理水のBOD₅に影響を与えないと見做され、MLSS同様最終結果から除去される。

次にエアレーション時間、混合液浮遊物、原水BODからBOD負荷を計算し、上述3変数をこれにおきかえて、処理水BOD₅をあらわすモデルを作った。(表4-8)。同表のt値を見れば、BOD負荷を右

表 4 - 7 処理水 B O D を M L V S S をいれて示す線形モデル

| 独立変数 | 係数 | 係数の標準誤差 | t 値 | 偏相関係数 |
|------------|---------|---------|--------|--------|
| 定数 | 18 217 | 3.574 | | |
| 曝気時間 | -3.320 | 0.590 | -5.623 | -0.525 |
| 原水温度 | -0.147 | 0.137 | -1.074 | -0.117 |
| M L V S S | -0.0018 | 0.001 | -1.582 | -0.171 |
| 原水 B O D | 0.084 | 0.033 | 2.524 | 0.267 |
| 残差平方和 | 1444 | | | |
| σ^2 | 0.25 | | | |
| 残差の標準誤差 | 4.17 | | | |
| ダービンワトソン比 | 1.77 | | | |

表 4 - 8 処理水 B O D を B O D 負荷をいれて示すモデル

| 独立変数 | 係数 | 係数の標準誤差 | t 値 | 偏相関係数 |
|------------|-------|---------|-------|--------|
| 定数 | 0.733 | | | |
| B O D 負荷 | 4.281 | 1.019 | 4.201 | -0.415 |
| 原水温度 | 0.027 | 0.142 | 0.191 | 0.021 |
| 残差平方和 | 1683 | | | |
| σ^2 | 0.153 | | | |
| 残差の標準誤差 | 4.449 | | | |
| ダービンワトソン比 | 1.549 | | | |

辺の独立変数として、処理水BOD₅をあらわすモデルに組み込むことを否定する理由はない。しかし、その偏相関係数は低く、また $\cos^2 \theta$ の値は0.153である。エアレーション時間、MLSS、原水BODを独立変数にしたモデルの $\cos^2 \theta$ は0.25であるから、BOD負荷はエアレーション時間以上に重要なファクターではない。

表4-9 BOD除去率をBOD負荷であらわす線形モデル

| 独立変数 | 係数 | 係数の標準誤差 | t-値 | 偏相関係数 |
|-----------------|-------------------------|---------|--------|--------|
| 定数 | 0.8187 | 0.0613 | | |
| BOD負荷 | -0.9523 | 0.022 | -2.337 | -0.245 |
| 原水温度 | 0.5484×10^{-3} | 0.0031 | 0.1765 | 0.0191 |
| $\cos^2 \theta$ | 0.0605 | | | |

表(4-9)は、独立変数を、表(4-3)と同様、BOD負荷と原水温度とし、従属変数をBOD除去率にした場合の計算結果を示したものである。従属変数を処理水のBODからBOD~~除去率~~に変えたことにより、モデルの精度はさらに低下したことを表(4-9)は示している。

BOD除去率や処理水BOD₅はエアレーション時間やMLSS単独ではなく、それらを組合せたBOD負荷の関数であるというのが定説⁴⁾になっているが、そのような事実は実証されなかった。

処理水のBODの変動の原因になるものはここで取り上げた曝気時間、MLVSS、BOD負荷の他にも存在する。攪拌強さや溶存酸素濃度が第一に考えられる。本章のデータを得た実験プラントでは溶存酸素計を曝気槽内に挿入し、常にDOを2mg/l以上に保持していた。したがって溶存酸素濃度がBOD除去速度の律速になっていたとは考え難い。

さらにまた、散気式エアレーションタンクではDO濃度と攪拌強度とを分離することはできない。これらの要因を定量的に実際プラントの設計に組込むことは困難であるので、本章で導いた線形モデルに組み入れていない。

以上のような外的な要因の他に、内部要因として無視できないものは活性汚泥の「活性度」である。これは「呼吸活性」とか「脱水素酵素活性」と呼ばれている。本章の実験中脱水素酵素活性を測定した。その結果をアペンデックスのデーター表に記入してある。呼吸活性でも脱水素酵素活性でも、総括的な活性度はMLSS濃度あるいはMLVSS濃度に比例すると思われるので、独立変数の一つにMLSSを選べば、さらに活性度を組み入れることは無意味である。結局、活性度を問題とするならば、単位MLSS当りの活性度、すなわち比活性度を用いなければならぬまい。しかしながら本章の解析手法を計画した時点では、比活性度が高いからBODの除去が高くなったのか、あるいはBODの除去がうまくゆくときには活性度が高いのか判断がつかねていた。そしてまた少くとも人為的に比活性度をコントロールできえるものではないので、本章で導いた線形モデルの右辺の独立には組み入れることをしなかった。

この比活性度の意義を再び第6章で検討する。

7 線形モデルの批判

最近になって、高松⁵⁾は変動するインプットを受ける曝気槽と沈殿池のアウトプットを求め、それによってプラントの設計の修正の方法の基本方針を明らかにした。すなわち、曝気槽および沈殿池内におけるBODや浮遊物の変化を示すプロセス方程式を別に半理論的に作製し、それらの方程式

に変動するインプットを代入し、アウトプットを計算する。こうして求めたアウトプットの平均値を一定基準内に納めるために必要な曝気槽と沈殿池の体積の決定の方法を検討したのである。まず曝気槽に対しては、一分子反応によるBODの減少と浮遊物の増加、自己酸化による浮遊物の減少を加味したモデルに、変動を伴うインプットを代入するわけである。こうしてえた結果のうち、①流入水量の変化すなわち滞留時間の変動は原水BODの変動よりも大きい影響を処理BODに与える、②返送汚泥濃度はほとんど処理水BODに影響をもっていないが興味深い。

沈殿池に対しては、一次元拡散方程式を修正して沈殿池内の反応をあらわすプロセス方程式を作り、これに変動あるインプットを代入して、③沈殿池内の濃度分布を計算し、ついで、④高周波数の変動ほどアウトプットに伝達されない、という結論を導いた。以上のうち、①②は第4章の線形モデルによる、④は相関関数をフーリエ変換して周波数の伝達による、著者の第3章の結果と定性的に一致している。帰納的に導いた統計モデルも半理的なプロセス方程式が与える結果も正に同一の傾向の結果与えたのである。よく考えてみると、プロセス方程式がいかに理論的に導かれたものであっても、各変数に係る定数をプラント実験にもとずいて決定しているかぎり、またその係数が反応条件や入力変動に応じて可変でないかぎり、帰納的統計モデルと同一の結果になっても不思議はない。両者は本質的に等しいのである。

半理論的なプロセス方程式を用いることの利益は、もし現実の現象をうまく記述している場合、反応の機構に一步近づいているので、反応槽の改善や修正の方針を得やすいことにある。したがって前出の高松のモデルの今後の発展により、沈殿池の上澄液を引抜くことによる濃度分布の変化ま

で記述できるようになれば、沈殿池から汚泥や上澄液の引抜き方法に理論的な明快さを与え得ることが期待される。

一方逆に半理論式の致命的な不利益は反応の機構が全く不明なもの、たとえば水温と処理水透視度との関数関係などには適応できないこと、および反応に関連する変数を数多く考慮できないことである（独立変数の数はせいぜい2個が限度である）。この不利益を帰納モデルは解決するのである。

現時点においては著者の方法がもっとも実用的であると考えている。もちろん、この方法に対して、①インプットとアウトプットとの関連づけに理論的明快さが乏しい、②したがって結果に一般性がない、という二つの批判は、帰納モデルの本質についているので、正にその通りである。②に対してはつぎのように答えることができる。――「**数多くのデータにも**とづいて作製されたモデルはたとえ帰納モデルであっても一般性が高い。この場合の一般性とはインターナショナルに全世界の下水処理場に通用するという意味ではなく、そのデータを収集した処理場において来るべき数年間という意味においてである。廃水処理とはテイラードメイドといわれているように対象とする局所に適用できれば、そのモデルは必要かつ十分な最小限の機能をもっていると考えている。」

本章で作ったモデルに対する批判のいまひとつは「線形」の仮定である。これに対してはつぎのように答えることができる。モデルに含まれる変数を2次や $\frac{1}{2}$ に変更して非線形にしても、モデルが説明できない誤差分散は低下しなかった。このことは、数学的には、複雑な関数を多項式に展開したとき一次の項だけが実験誤差や測定誤差あるいは未知の原因による誤差に比較して有意であることに相当する。すなわち独立変数の一次結合で

構成される線形モデルが必要かつ十分な精度をもっているといつてよい。

また別の批判は「こうしてえたモデルは過去にえた集団の情報にもとずいて作られているから未来の現象に対して無力である」という点である。このような心配は統計モデルだけに固有のものではない。理論式といわれるものでも、式中の定数を実験にもとずいて決定するかぎり過去の標本集団の影響の範囲内にある。通常、数多くのデーターで構成されている集団の特性はわずかの時差をもつ未来において大巾に変わるということはありません。この意味において、数多くのデーターから帰納された統計モデルの方が理論モデルよりも時差の影響を受け難いと考えてよい。本章で作ったモデルは大巾な変更をすることなく未来の現象の記述すなわち予測に使用できる。末石⁶⁾は高度の河川汚濁防止のため下水管から雨水の流出を制御する方法として、学習制御という概念を導入した。学習制御とは機構自体が条件の変化による結果を集積記憶し、それをつぎの制御に役立てる方法をいうが、一度作った線形モデルを常にこのような学習制御の方法にもとずいて修正してゆけば“up to date”なモデルの作製が可能になる。こうすることによって、パイロットプラントと反応モデルによるプラント管理への道が開かれるのである。ただし、集積したデーターをすみやかにフィードバックしてモデルを修正するためには大型電子計算機の利用が必須の条件である。

8. 総 括

活性汚泥法の運転条件とその結果生じた浄化水の水質指標との関係とを線形モデルで定量化した。このための手法は結果的に最小自乗法に等しくなるものであるが、本章では代数幾何学的に線形モデルを求めることにした。

この理由は、モデルの精度を実測値ベクトルと推定値ベクトルとのなす角度の余弦で表わすことができるので、水質指標の機能の解析が容易になるからである。

本章の解析で得た結果をつぎに示す：

- ① 処理水透視度は曝気時間、MLSS、原水温度の変化を反映する。処理水BODは曝気時間と原水BOD変化を反映する。
- ② 曝気時間は他の何よりも大きい影響を透視度およびBODに与える。しかしながら、BODは透視度ほど曝気時間の影響を受けない。
- ③ 処理条件としてのMLVSS、BOD負荷のいずれとも処理水のBODとは密接な関数関係にない。

以上の3項目は、曝気時間：1～3時間、水温：8～23℃、原水BOD：60～110 mg/ℓ、MLSS：500～2,500の範囲で成立する実験的事実であるが、従来の常識とかなり内容を異にしている。とくに、BOD除去率あるいは処理水のBODを指標にして、曝気時間の長さやMLSS量を決定するのが曝気槽の設計の常道であった。しかしながら、実験的には、処理水のBODあるいはBOD除去率は従来の常識的な設計パラメーター（曝気時間やMLSS、水温など）とあまり密接な関連にないと結論されたのである。この問題について次章以下で再び検討する。

9 参 考 文 献

- 1) Draper N.R. "Applied Regression Analysis"
John Wiley & Sons, 1966
- 2) 北 川 敏 男 "多変量解析" 共立出版 1969

- 3) 勝 又 保 正 “ 森ヶ崎処理場運転開始時における低濃度下水の
活性汚泥法処理実験 ” 下水道協会誌、Vol. 7.
№73 6月、1970年
- 4) 野 中 八 郎 “ 下水処理プロセスとプラントの設計 ”、下水道
協会、1967年
- 5) 高 松・橋 本・塩 谷 “ 入力変動を考慮した活性汚泥法水処理プロセス
の合理的設計 ”
下水道協会誌、Vol. 8, №91, 12月, 1971年
- 6) 末 石 富 太 郎 “ 下水道系統における水量水質監視の試案 ” 公害
と対策、Vol. 15, №3, 3月、1959年

10 アペンデックス

100

[illegible]

表 4A1-2 処理水 T-9

| 日付 | NO. | 温度
(℃) | PH | 透明度
cm | SS
(mg/L) | COD
(mg/L) | COD
(mg/L) | BOD
(mg/L) | BOD
(mg/L) | 2-NP7 炭
(mg/L) | 2-NP7 炭
(mg/L) | 2-NP7 炭
(mg/L) | 炭水化合物
(mg/L) |
|---------|-------|-----------|------|-----------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------|
| (年・月・日) | | | (°) | | | | | | | (mg/L) | (mg/L) | (mg/L) | (mg/L) |
| 40326. | 21.00 | 3.00 | 7.30 | 19.00 | 14.00 | 25.00 | 25.00 | 12.00 | 10.00 | 20.00 | 18.00 | 11.20 | 10.90 |
| 40327. | 22.00 | 3.00 | 7.30 | 19.00 | 20.00 | 34.00 | 34.00 | 14.00 | 10.00 | 19.00 | 19.00 | 11.60 | 10.00 |
| 40328. | 21.00 | 3.00 | 7.20 | 19.00 | 15.00 | 32.00 | 32.00 | 25.00 | 19.00 | 15.00 | 14.50 | 13.40 | 7.60 |
| 40306. | 22.00 | 3.00 | 7.20 | 42.00 | 6.00 | 19.00 | 19.00 | 5.70 | 4.40 | 5.50 | 5.50 | 6.80 | 5.20 |
| 40307. | 23.00 | 3.00 | 7.20 | 46.00 | 15.00 | 24.00 | 24.00 | 10.00 | 6.40 | 9.50 | 6.50 | 7.20 | 6.40 |
| 31028. | 41.00 | 3.00 | 7.30 | 65.00 | 3.00 | 12.00 | 12.00 | 19.70 | 14.90 | 5.50 | 5.00 | 16.00 | 11.60 |
| 31030. | 42.00 | 3.00 | 7.20 | 50.00 | 4.00 | 14.00 | 14.00 | 14.50 | 13.50 | 3.00 | 2.00 | 16.00 | 11.60 |
| 31031. | 43.00 | 3.00 | 7.20 | 36.00 | 7.00 | 16.00 | 16.00 | 11.70 | 11.40 | 3.00 | 6.50 | 11.20 | 8.00 |
| 31121. | 44.00 | 3.00 | 7.00 | 40.00 | 9.00 | 18.00 | 18.00 | 7.00 | 6.00 | 11.00 | 7.50 | 8.00 | 5.20 |
| 31122. | 45.00 | 3.00 | 7.30 | 48.00 | 4.00 | 14.00 | 14.00 | 7.50 | 5.00 | 11.00 | 7.50 | 9.60 | 7.60 |
| 30916. | 91.00 | 3.00 | 7.30 | 90.00 | 5.00 | 10.00 | 10.00 | 5.50 | 5.10 | 6.50 | 5.50 | 8.40 | 5.60 |
| 30919. | 92.00 | 3.00 | 7.20 | 60.00 | 10.00 | 13.00 | 13.00 | 8.50 | 4.90 | 5.50 | 3.00 | 6.40 | 5.60 |
| 30929. | 93.00 | 3.00 | 7.50 | 55.00 | 5.00 | 14.00 | 14.00 | 10.70 | 6.80 | 11.00 | 7.50 | 4.40 | 4.00 |
| 30925. | 94.00 | 3.00 | 7.40 | 78.00 | 2.00 | 11.00 | 11.00 | 6.30 | 3.20 | 5.00 | .00 | 8.40 | 1.20 |
| 30093. | 95.00 | 3.00 | 7.20 | 49.00 | 6.00 | 14.00 | 14.00 | 11.10 | 7.20 | 8.00 | 4.60 | 10.40 | 7.20 |
| 30823. | 71.00 | 3.00 | 7.20 | 35.00 | 7.00 | 16.00 | 16.00 | 10.80 | 7.60 | 11.00 | 11.00 | 4.40 | 2.00 |
| 30821. | 72.00 | 3.00 | 7.30 | 20.00 | 13.00 | 24.00 | 24.00 | 13.20 | 9.80 | 15.00 | 13.00 | 10.60 | 7.60 |
| 30821. | 73.00 | 3.00 | 7.30 | 12.00 | 22.00 | 30.00 | 30.00 | 20.80 | 14.40 | 28.00 | 18.00 | 15.60 | 1.40 |
| 30814. | 74.00 | 3.00 | 7.30 | 33.00 | 14.00 | 13.00 | 13.00 | 12.20 | 8.80 | 3.00 | .00 | 6.40 | 4.80 |
| 30712. | 75.00 | 3.00 | 7.30 | 29.00 | 13.00 | 19.00 | 19.00 | 12.20 | 8.60 | 13.50 | 12.00 | 4.40 | 3.20 |
| 30717. | 81.00 | 3.00 | 7.20 | 37.00 | 14.00 | 15.00 | 15.00 | 11.00 | 4.00 | 12.50 | 12.50 | 6.80 | 6.80 |
| 30718. | 82.00 | 3.00 | 7.20 | 26.00 | 17.00 | 20.00 | 20.00 | 12.40 | 9.60 | 17.50 | 12.00 | 7.60 | 7.60 |
| 30720. | 83.00 | 3.00 | 7.20 | 55.00 | 7.00 | 16.00 | 16.00 | 11.20 | 7.80 | 9.00 | 4.40 | 6.40 | 6.00 |
| 30722. | 84.00 | 3.00 | 7.30 | 52.00 | 11.00 | 18.00 | 18.00 | 12.50 | 9.80 | 4.80 | 2.80 | 6.90 | 5.20 |
| 30803. | 85.00 | 3.00 | 7.10 | 62.00 | 6.00 | 13.00 | 13.00 | 8.80 | 5.90 | 9.00 | 9.00 | 11.60 | 7.60 |
| 30617. | 86.00 | 3.00 | 7.20 | 26.00 | 7.00 | 18.00 | 18.00 | 17.80 | 4.30 | 11.00 | 10.00 | 12.40 | 9.20 |
| 30619. | 87.00 | 3.00 | 7.20 | 32.00 | 12.00 | 13.00 | 13.00 | 11.60 | 18.00 | 8.00 | 7.50 | 7.60 | 6.40 |
| 30620. | 88.00 | 3.00 | 7.30 | 55.00 | 6.00 | 13.00 | 13.00 | 20.00 | 13.00 | 9.00 | 5.50 | 5.60 | 5.60 |
| 30621. | 89.00 | 3.00 | 7.30 | 67.00 | 3.00 | 14.00 | 14.00 | 15.00 | 7.00 | 7.00 | 2.00 | 5.60 | 5.60 |
| 30622. | 90.00 | 3.00 | 7.30 | 45.00 | 3.00 | 16.00 | 16.00 | 9.00 | 6.00 | 12.50 | 11.00 | 6.80 | 2.00 |
| 30627. | 91.00 | 3.00 | 7.30 | 40.00 | 12.00 | 9.00 | 9.00 | 19.00 | 15.00 | 7.50 | 6.50 | 8.40 | 5.60 |
| 30605. | 33.00 | 1.50 | 7.10 | 16.00 | 23.00 | 21.00 | 21.00 | 21.00 | 21.00 | 22.00 | 14.00 | 6.80 | 6.40 |
| 30606. | 34.00 | 1.50 | 7.10 | 17.00 | 14.00 | 24.00 | 24.00 | 18.00 | 12.60 | 19.50 | 12.50 | 7.60 | 7.60 |
| 30607. | 35.00 | 1.50 | 7.30 | 18.00 | 18.00 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 14.50 | 14.50 | 14.50 | 4.80 | 3.20 |
| 30608. | 36.00 | 1.50 | 7.20 | 19.00 | 8.00 | 25.00 | 25.00 | 23.00 | 15.00 | 14.50 | 12.00 | 6.40 | 6.40 |
| 30508. | 61.00 | 1.50 | 7.30 | 15.00 | 14.00 | 20.00 | 20.00 | 14.00 | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 |
| 30509. | 62.00 | 1.50 | 7.30 | 14.00 | 16.00 | 22.00 | 22.00 | 20.00 | .00 | .00 | .00 | 6.40 | .00 |
| 30510. | 63.00 | 1.50 | 7.50 | 17.00 | 7.00 | 20.00 | 20.00 | 12.00 | .00 | 8.00 | .00 | 6.20 | .00 |
| 30511. | 64.00 | 1.50 | 7.40 | 16.00 | 18.00 | 16.00 | 16.00 | 18.00 | .00 | 22.00 | .00 | 6.00 | .00 |
| 30515. | 65.00 | 1.50 | 7.40 | 12.00 | 8.00 | 21.00 | 21.00 | 18.00 | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 |
| 30515. | 66.00 | 1.50 | 7.40 | 15.00 | 17.00 | 16.00 | 16.00 | 7.00 | .00 | 6.40 | .00 | 14.00 | .00 |
| 30522. | 31.00 | 1.50 | 7.30 | 10.00 | 32.00 | 24.00 | 24.00 | 17.00 | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 |
| 30603. | 32.00 | 1.50 | 7.20 | 21.00 | 1.00 | 19.00 | 19.00 | 15.00 | .00 | 13.50 | .00 | 5.20 | .00 |

表 4A1-3 混合液与底泥污泥分析

| NO | SV
(底泥与泥(硬壳层)×(硬壳层)) | SV | SS | MLSS | MLSS
(出口) | SVI
(出口) | SVI
(进口) | SVI
(出口) | SS/VS
(底泥污泥) | MLSS
(进口) | MLSS
(出口) | SVI
(进口) |
|-----|-------------------------|-------|-------|----------|--------------|-------------|-------------|-------------|-----------------|--------------|--------------|-------------|
| 11. | 28.00 | 8.00 | 7.00 | 5530.00 | 1926.00 | 1630.00 | 50.60 | 41.50 | 42.90 | 60.60 | 63.80 | 416.00 |
| 12. | 24.00 | 8.00 | 8.00 | 5274.00 | 1900.00 | 1790.00 | 45.50 | 42.00 | 44.70 | 61.40 | 61.50 | 410.00 |
| 21. | 27.00 | 8.00 | 7.00 | 5528.00 | 1620.00 | 1566.00 | 48.80 | 49.40 | 44.70 | 61.10 | 61.10 | 360.00 |
| 22. | 28.00 | 6.80 | 6.00 | 6054.00 | 1876.00 | 1742.00 | 46.20 | 56.30 | 34.40 | 52.40 | 52.80 | 276.00 |
| 23. | 43.00 | 11.00 | 6.00 | 8426.00 | 2666.00 | 1786.00 | 51.10 | 41.40 | 33.60 | 52.10 | 51.80 | 424.00 |
| 41. | 47.00 | 12.00 | 10.00 | 9654.00 | 2992.00 | 2874.00 | 49.00 | 40.00 | 35.00 | 45.00 | 45.00 | 380.00 |
| 42. | 26.00 | 7.00 | 7.00 | 6280.00 | 1946.00 | 1806.00 | 41.00 | 36.00 | 39.00 | 40.50 | 45.00 | 270.00 |
| 43. | 60.00 | 15.00 | 13.00 | 11398.00 | 3816.00 | 3556.00 | 53.00 | 39.00 | 37.00 | 47.70 | 47.90 | 633.00 |
| 44. | 57.00 | 12.00 | 11.00 | 7754.00 | 2572.00 | 2534.00 | 74.00 | 47.00 | 44.00 | 50.90 | 50.80 | 450.00 |
| 45. | 28.00 | 7.50 | 7.50 | 5534.00 | 1818.00 | 1732.00 | 51.00 | 41.00 | 43.00 | 51.60 | 50.80 | 450.00 |
| 91. | 19.00 | 4.00 | 4.00 | 5354.00 | 1170.00 | 1012.00 | 35.50 | 34.20 | 39.50 | 43.30 | 44.10 | 188.00 |
| 92. | 34.00 | 8.00 | 7.00 | 8104.00 | 2454.00 | 2372.00 | 42.00 | 32.60 | 29.50 | 45.30 | 45.00 | 41.60 |
| 93. | 13.00 | 4.50 | 4.50 | 3132.00 | 1079.00 | 1074.00 | 41.50 | 41.70 | 41.90 | 47.80 | 48.30 | 198.00 |
| 94. | 23.00 | 5.50 | 5.00 | 5350.00 | 1598.00 | 1578.00 | 42.40 | 35.30 | 33.70 | 49.50 | 48.80 | 284.00 |
| 95. | 38.00 | 10.00 | 8.50 | 7558.00 | 2622.00 | 2250.00 | 50.50 | 45.80 | 37.80 | 50.90 | 51.90 | 515.00 |
| 71. | 76.00 | 0.00 | 11.00 | 11738.00 | 0.00 | 2874.00 | 65.30 | 0.00 | 38.00 | 45.00 | 45.00 | 0.00 |
| 72. | 83.00 | 0.00 | 12.00 | 12318.00 | 0.00 | 3204.00 | 67.00 | 0.00 | 38.00 | 44.00 | 44.00 | 0.00 |
| 73. | 89.00 | 0.00 | 12.00 | 14176.00 | 0.00 | 2916.00 | 63.00 | 0.00 | 41.00 | 43.00 | 43.00 | 0.00 |
| 74. | 91.00 | 0.00 | 14.00 | 16816.00 | 0.00 | 3716.00 | 54.00 | 0.00 | 38.00 | 44.20 | 44.20 | 0.00 |
| 75. | 90.00 | 0.00 | 13.00 | 16392.00 | 0.00 | 3400.00 | 55.00 | 0.00 | 38.00 | 44.10 | 43.80 | 0.00 |
| 81. | 86.00 | 8.50 | 10.00 | 7130.00 | 2080.00 | 2820.00 | 120.00 | 41.00 | 35.00 | 46.00 | 45.00 | 0.00 |
| 82. | 37.00 | 7.50 | 8.50 | 8438.00 | 2068.00 | 2198.00 | 44.00 | 36.00 | 39.00 | 46.00 | 45.00 | 313.00 |
| 83. | 26.00 | 8.00 | 8.50 | 8808.00 | 2058.00 | 2238.00 | 30.00 | 39.00 | 38.00 | 49.00 | 48.00 | 366.00 |
| 84. | 21.00 | 5.00 | 5.00 | 5252.00 | 1348.00 | 1318.00 | 40.00 | 37.00 | 38.00 | 49.00 | 49.00 | 230.00 |
| 85. | 32.00 | 7.50 | 7.50 | 7622.00 | 1862.00 | 1982.00 | 42.00 | 40.00 | 38.00 | 45.00 | 46.00 | 360.00 |
| 86. | 84.00 | 13.00 | 13.00 | 12948.00 | 3462.00 | 3304.00 | 65.00 | 38.00 | 39.00 | 44.00 | 45.00 | 538.00 |
| 51. | 20.00 | 4.00 | 3.50 | 5502.00 | 1198.00 | 1268.00 | 36.00 | 33.00 | 28.00 | 37.00 | 38.00 | 175.00 |
| 52. | 27.00 | 5.00 | 5.00 | 6048.00 | 1522.00 | 1524.00 | 45.00 | 33.00 | 33.00 | 44.00 | 45.00 | 235.00 |
| 53. | 20.00 | 4.50 | 4.20 | 4902.00 | 1108.00 | 1120.00 | 41.00 | 41.00 | 38.00 | 47.00 | 46.00 | 188.00 |
| 54. | 20.00 | 4.50 | 4.50 | 4084.00 | 990.00 | 998.00 | 51.00 | 46.00 | 45.00 | 48.00 | 48.00 | 185.00 |
| 55. | 20.00 | 4.50 | 4.50 | 4208.00 | 964.00 | 1016.00 | 48.00 | 47.00 | 44.00 | 51.00 | 50.00 | 188.00 |
| 56. | 20.00 | 5.00 | 5.00 | 3974.00 | 1050.00 | 1024.00 | 50.00 | 47.00 | 49.00 | 56.00 | 54.00 | 101.00 |
| 33. | 0.00 | 0.00 | 7.00 | 0.00 | 0.00 | 1412.00 | 0.00 | 0.00 | 50.00 | 0.00 | 52.00 | 0.00 |
| 34. | 0.00 | 0.00 | 9.00 | 0.00 | 0.00 | 1602.00 | 0.00 | 0.00 | 56.00 | 0.00 | 54.00 | 0.00 |
| 35. | 37.00 | 0.00 | 9.00 | 1034.00 | 0.00 | 1624.00 | 51.00 | 0.00 | 55.00 | 0.00 | 56.00 | 0.00 |
| 36. | 33.00 | 0.01 | 7.00 | 5250.00 | 0.00 | 1450.00 | 63.00 | 0.00 | 48.00 | 0.00 | 55.00 | 0.00 |
| 61. | 0.00 | 0.00 | 10.00 | 0.00 | 0.00 | 2276.00 | 0.00 | 0.00 | 44.00 | 0.00 | 59.00 | 0.00 |
| 62. | 0.00 | 0.00 | 13.50 | 0.00 | 0.00 | 3074.00 | 0.00 | 0.00 | 44.00 | 0.00 | 53.00 | 0.00 |
| 63. | 0.00 | 0.00 | 8.50 | 0.00 | 0.00 | 1930.00 | 0.00 | 0.00 | 44.00 | 0.00 | 59.00 | 0.00 |
| 64. | 0.00 | 0.00 | 9.50 | 0.00 | 0.00 | 1978.00 | 0.00 | 0.00 | 49.00 | 0.00 | 56.00 | 0.00 |
| 65. | 0.00 | 0.00 | 10.00 | 0.00 | 0.00 | 2364.00 | 0.00 | 0.00 | 42.00 | 0.00 | 49.00 | 0.00 |
| 66. | 0.00 | 0.00 | 10.00 | 0.00 | 0.00 | 2212.00 | 0.00 | 0.00 | 45.00 | 0.00 | 52.00 | 0.00 |
| 31. | 0.00 | 0.00 | 2.50 | 0.00 | 0.00 | 698.00 | 0.00 | 0.00 | 36.00 | 0.00 | 54.00 | 0.00 |
| 32. | 0.00 | 0.00 | 7.50 | 0.00 | 0.00 | 1508.00 | 0.00 | 0.00 | 50.00 | 0.00 | 54.00 | 0.00 |

| NO | 品名 | 単位 | 数量 | 価格 | 金額 | 品名 | 単位 | 数量 | 価格 | 金額 |
|----|----|----|-----|-----|-------|----|----|-----|-----|-------|
| 11 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 |
| 12 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 |
| 13 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 |
| 14 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 |
| 15 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 |
| 16 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 |
| 17 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 |
| 18 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 |
| 19 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 |
| 20 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 |
| 21 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 |
| 22 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 |
| 23 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 |
| 24 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 |
| 25 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 |
| 26 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 |
| 27 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 |
| 28 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 |
| 29 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 |
| 30 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 |
| 31 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 |
| 32 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 |
| 33 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 |
| 34 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 |
| 35 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 |
| 36 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 |
| 37 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 |
| 38 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 |
| 39 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 |
| 40 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 |
| 41 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 |
| 42 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 |
| 43 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 |
| 44 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 |
| 45 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 |
| 46 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 |
| 47 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 |
| 48 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 |
| 49 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 |
| 50 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 | 小麦 | kg | 100 | 100 | 10000 |

表 4A15 混合源と並進活動データ

| No. | 当り
0和反活性
出口 | | VSS MLVSS BOD負荷
(入口) | | |
|-----|-------------------|---------|-------------------------|---------|------|
| | 出口 | (入口) | 出口 | (入口) | |
| 11. | .00 | 3446.00 | 1167.00 | 976.00 | .49 |
| 12. | 1.21 | 3226.00 | 1174.00 | 1177.00 | .43 |
| 21. | 1.28 | 3396.00 | 996.00 | 956.00 | .60 |
| 22. | .68 | 3176.00 | 984.00 | 922.00 | .21 |
| 23. | .50 | 4306.00 | 1378.00 | 944.00 | .25 |
| 41. | .37 | 4464.00 | 1346.00 | 1262.00 | .22 |
| 42. | .45 | 2544.00 | 918.00 | 812.00 | .37 |
| 43. | .10 | 5466.00 | 1826.00 | 1676.00 | .16 |
| 44. | .32 | 3924.00 | 1311.00 | 1284.00 | .22 |
| 45. | .32 | 2822.00 | 942.00 | 862.00 | .27 |
| 91. | .74 | 2320.00 | 516.00 | 522.00 | .33 |
| 92. | .78 | 3574.00 | 1164.00 | 1096.00 | .49 |
| 93. | .77 | 1519.00 | 516.00 | 514.00 | .48 |
| 94. | .78 | 2546.00 | 746.00 | 770.00 | .39 |
| 95. | .63 | 3566.00 | 1362.00 | 1166.00 | .22 |
| 71. | .39 | 5226.00 | .00 | 1572.00 | .59 |
| 72. | .00 | 5426.00 | .00 | 1470.00 | .46 |
| 73. | .00 | 6214.00 | .00 | 1266.00 | .51 |
| 74. | .36 | 7416.00 | .00 | 1641.00 | .33 |
| 75. | .00 | 7406.00 | .00 | 1484.00 | .36 |
| 81. | .00 | 3272.00 | 947.00 | 1780.00 | .67 |
| 82. | .00 | 3372.00 | 952.00 | 964.00 | .32 |
| 83. | .00 | 4766.00 | 12.00 | 1074.00 | .49 |
| 84. | .00 | 2466.00 | 774.00 | 641.00 | .72 |
| 85. | 5.40 | 3624.00 | 344.00 | 926.00 | .31 |
| 86. | 4.70 | 5734.00 | 1522.00 | 1492.00 | .79 |
| 51. | .00 | 2264.00 | 143.00 | 426.00 | .47 |
| 52. | .00 | 2580.00 | 742.00 | 694.00 | .63 |
| 53. | .00 | 2266.00 | 518.00 | 518.00 | .97 |
| 54. | .00 | 1964.00 | 476.00 | 482.00 | .75 |
| 55. | .00 | 2136.00 | 476.00 | 528.00 | .82 |
| 56. | .00 | 2366.00 | 590.00 | 548.00 | .93 |
| 33. | .00 | .00 | .00 | 736.00 | 1.37 |
| 34. | .00 | .00 | .00 | 862.00 | 1.65 |
| 35. | .00 | 3626.00 | .00 | 904.00 | 1.02 |
| 36. | .00 | 2366.00 | .00 | 802.00 | 1.31 |
| 61. | .00 | .00 | .00 | 1328.00 | .75 |
| 62. | .00 | .00 | .00 | 1634.00 | .47 |
| 63. | .00 | .00 | .00 | 1134.00 | .69 |
| 64. | .00 | .00 | .00 | 1128.00 | .95 |
| 65. | .00 | .00 | .00 | 1162.00 | .69 |
| 66. | .00 | .00 | .00 | 1140.00 | .45 |
| 31. | .00 | .00 | .00 | 376.00 | 1.26 |
| 32. | .00 | .00 | .00 | 426.00 | 3.37 |

第5章 エアレーション時間の変化に伴う水質ベクトルの特性の解析

| | |
|--|-----|
| 1 概 論 | 148 |
| 2 エアレーション時間による Controlability の変化の定量化 | 148 |
| 3 エアレーション時間の変化に伴う水質ベクトルの分布空間特性の
変化の解析 | 149 |
| 4 判別指標の試作 | 163 |
| 5 考察と総括 | 171 |
| 6 参考文献 | 172 |

1 概 論

前章では、曝気時間がその処理結果である処理水の水質、BODや透視度に顕著な影響を与え、しかもそれを他の方法、たとえばMLSSの増加など、によって代替できないことが明らかにされた。本章では水質をスカラではなく、ベクトルと考え、「コントロール^レビリティ」と「だ円体の形状」という新しい概念にもとづく指標によって、曝気時間のもつ意義を再評価する。

2 エアレーション時間による Controlability の変化の定量化

処理水質の変動の原因がわかれば、変動を減少するための具体的な方策を講じることができる。処理水質の変動（たとえば分散）のうち既知部分の全体に対する比を仮にプラントのコントロールビリティ（Controlability^{la} 仮称）と呼んでおく。すべての変動の原因が既知の場合この比は1になり、すべての変動の原因が未知の場合この比は0になる。この比の値が大きいほどプラントの運転管理がしやすい。このコントロールビリティと曝気時間との関係を検討してみる。この命題に対する解答の方法は前章でのべた予測ベクトルと実測ベクトルとのなす角度の余弦の平方が与える。ここでは、第4章と同一データを1、2、3時間の曝気時間ごとに編成しなおし、前章の式（4-13）で $\cos^2 \theta$ の値を計算し、結果を表（5-1）にまとめた。

曝気時間が1時間、2時間、3時間と長くなることに対応して、コントロールビリティの改善は劇的である。すなわち、処理水の透視度にあつては、コントロールビリティが35.3%、61.7%、74.6%と急激に改善されてゆく。また処理水BODのそれは7.7%、28.7%、56.5%といちじるしく改善さ

れる。コントロールビリティの改善とは原因不明の未知変動の減少を意味する。本章でも線形モデルの右辺の独立変数として原水BOD、原水温度、MLSS濃度を選んでいるから、この3者以外の要因による変動がここでいう未知変動に相当する。

| 曝気時間 | 従属変数 | $\cos^2 \theta$ |
|------|------|-----------------|
| 1 HR | 透視度 | 35.3 |
| | BOD | 7.7 |
| 2 HR | 透視度 | 61.7 |
| | BOD | 28.7 |
| 3 HR | 透視度 | 74.6 |
| | BOD | 56.6 |

表5-1 エアレーション時間の変化による controlability の変化

以上のようにコントロールビリティという指標より、曝気時間の水質安定あるいはプラントの運転のし易さという実務に対する効果を定量的に記述できる。

3 エアレーション時間の変化に伴う水質ベクトルの分布空間特性の変化の解析

コントロールビリティが透視度やBODなど水質によって違うのはおのおの水質がスカラーとして曝気時間による独立変動をするのではなくて、ベクトルとして構成される水質が共通して各種条件にバウンドを受けていることを

を求む。したがって、極論すればBODが減少すればCODが増加すると
 いった変動を適当な指標を用いて、解明することが必要である。

活性汚泥法による都市下水の浄化の程度を監視するために、BOD、COD、
 浮遊物など多くの変量を測定している下水処理場の数が多い。しかし、この
 ように浄化水の水質を多くの変量を用いて記録しておきながら、個々の項目
 を別々に問題にし、全体的に総合したものを対象にすることはあまり例がな
 かった。つまり水質をベクトルだとは考えなかったのである。

たとえば曝気時間の関数として変化する各従属変数の種類が数多くある場
 合、個々の従属変数自体ではなく、変数を元とするベクトルを検討する方が
 曝気時間の意義を解明しやすい。つまりスカラーよりもベクトルの方が新し
 く、かつ、くわしい情報を与える場合が多いのである。

活性汚泥法による浄化水の水質が大きく変動しているにもかかわらず、そ
 の原因を完全に理論的に説明できないことが明らかになった以上、水質の変
 動を確率的に取り扱うべきと考えるが、水質をベクトルとするならば、個々
 の変量を周辺分布とする多次元確率ベクトルが以下で解析の対象になる。

(1) 多変量分布と確率体

1つの変量が正規分布する場合の確率密度関数に相当するものとして、
 p次元確率ベクトルの確率密度関数はつぎのようになる。

$$f(x) = (2\pi)^{-1/2} |\Sigma|^{-1/2} \cdot \exp \left\{ -\frac{1}{2} (x - \mu)' \Sigma^{-1} (x - \mu) \right\} \dots\dots\dots 5-1$$

ここに Σ は分散共分散行列であって、データ行列 X から次のようにして計
 算する。

$$\Sigma = \frac{1}{N} X X' \dots\dots\dots 5-2$$

位置ベクトル $x_j (j=1 \sim N)$ で表わされる水質 $S_j (j=1 \sim N)$ が p 次元空間に分布する密度は式 (5-1) で計算できる。式 (5-1) の \exp の中を

$$\chi^2 = (x - \mu)' \Sigma^{-1} (x - \mu) \dots \dots \dots (5-3)$$

のように書くと、同じ値の χ^2 に対して $f(x)$ は同一の値になる。式 (5-3) は幾何学的にだ円を表わすから、けっきょく、そのだ円上では、式 (5-1) が同一確率密度を与えることになる。確率ベクトル x が多変量正規分布するならば、 χ^2 はカイ自乗分布するので、任意の確率密度に対する χ^2 の値を求めることは容易である。

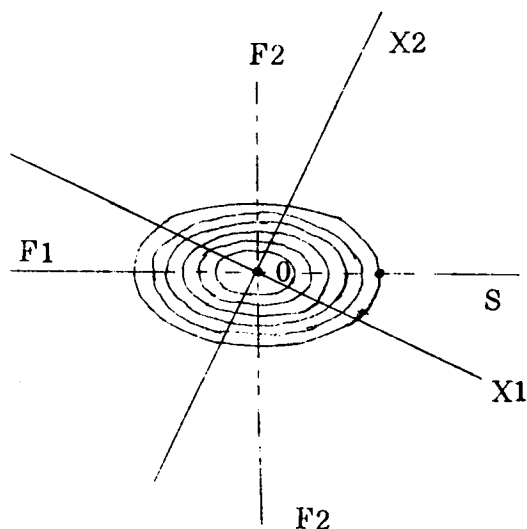


図 5-1 $p=2$ の場合の等確率だ円体

図 (5-1) は $p=2$ の場合の確率だ円のスケッチを示したものである。

この図ではだ円の中心と原点が一致するように画いてある。

(2) 確率だ円体の主軸

図 (5-1) に示したような $p=2$ 、すなわち確率ベクトル x が 2 次元としたとき、だ円には長軸と短軸との 2 本の主軸がある。一般に、 p 次元のだ円体には p 本の主軸がある。 p 本の主軸は互いに直交し、第 1 主軸

が一番長く順次短くなってゆく。

p 次元ベクトルで表わされる下水浄化水の水质を含むだ円体の大きさおよび p 本の主軸の長さや傾きが、エアレーション時間の長さによって、どのように変化するかを明らかにすることが数学的テーマである。

以下の解析では簡便のために、各変量の測定値は平均値のまわりに分布しているとする。代数的にはすべての測定値をその変量ごとに平均値からの偏差におきかえたことに相当する。幾何学的には、だ円体の中心を座標軸の原点へ移動したことに相当する。図(5-1)はこの状態を示したものである。この場合式(5-3)は

$$x^2 = x' \Sigma^{-1} x \dots\dots\dots 5-4$$

のように簡単になる。

(3) 主軸算定式²⁾

式(5-3)で表わされるだ円上(図(5-1)参照)の1点Sの位置ベクトルを x で表わすと、原点0からSまでの距離 d の自乗はベクトル x のノルムに等しいから、次の式で表わすことができる。

$$d^2 = x' x \dots\dots\dots 5-5$$

Sはだ円上にあるから、ベクトル x は次の式を満たさなければならない。

$$x^2 = x' \Sigma^{-1} x \dots\dots\dots 5-6$$

第1主軸はすべての主軸中最大の長さをもっている。すなわち d が最大のはずであるから、式(5-6)の下で式(5-5)を最大にする位置ベクトル x_1 を求めればよい。ラグランジュの未定乗数を λ とすれば、式(5-5)を最大にすることは次の式(5-7)を最大にすることに等しい。

$$Q(x) = x' x - \lambda (x' \Sigma^{-1} x - x^2) \dots\dots\dots 5-7$$

x で偏微分して0とおけば、式(5-8)をえる。

$$\Sigma x = \lambda x \dots\dots\dots 5-8$$

式(5-8)を満たすようなスカラー λ とそれに対応するベクトルを見出すこと、すなわち固有値問題に帰着する。分散共分散行列 Σ の固有値に対する固有ベクトル ℓ を求めると所定の解をえたことになる。固有ベクトルの要素の一つは任意に世ぶことができる。 ℓ が特定のスカラー λ に対して、式(5-8)を満足すれば k を任意の定数としたとき $k\ell$ もやはり式(5-8)を満足する。ところで第1主軸の点Sの座標成分は x_1 であり、かつ $x_1 = k\ell$ であるから、第1主軸のものと p 本の座標軸に対する余弦は次のようになる。

$$\left. \begin{array}{l} \cos \theta_1 = \ell_1 / \sqrt{\ell' \ell} \\ \cos \theta_2 = \ell_2 / \sqrt{\ell' \ell} \\ \vdots \\ \cos \theta_p = \ell_p / \sqrt{\ell' \ell} \end{array} \right\} \dots\dots\dots 5-9$$

したがって式(5-10)の条件を満たすよう k を決定すれば、

$$\ell' \ell = 1 \dots\dots\dots 5-10$$

固有ベクトル ℓ は第1主軸の方向余弦を表わす。

式(5-8)の両辺に x' を乗じて変形すると式(5-11)になる。

$$x'x = \lambda x' \Sigma^{-1} \dots\dots\dots 5-11$$

式(5-6)の関係を用いてさらに式(5-11)を変形する。

$$x'x = \lambda x^2 \dots\dots\dots 5-12$$

式(5-12)を式(5-5)へ代入すると、主軸の長さを求めることができる。

$$2d = 2 \sqrt{\lambda x^2} \dots\dots\dots 5-13$$

任意の確率密度に対する x^2 の値(自由度 $p-1$)を数表から求めて、それに固有値を乗じ、平方根を求め、2倍すると主軸の実長を求めることがで

きる。

一般に p 次の対称行列は $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p$ という p 個の固有値をもつ。これに対応して p 組の固有ベクトル $\mathbf{l}_1, \mathbf{l}_2, \dots, \mathbf{l}_p$ がある。この場合次式が成立することが明らかにされている。⁴⁾

$$\mathbf{l}_j' \mathbf{l}_i = \delta_{ij} \quad \delta_{ij} = \begin{cases} 0 & i \neq j \\ 1 & i = j \end{cases} \quad \dots\dots\dots 5-14$$

p 組の固有ベクトルはすべて直交していることがわかる。 p 組の固有ベクトルはだ円体の p 本の主軸の方向余弦に相当するわけである。

(4) だ円体主軸上の分散

変数の数 p に相当する p 次元の座標系に、新たにだ円体の p 本の主軸が加わったことになる。もとの座標系とだ円体の主軸を軸にする座標系の関係を考える。

もとの座標系において x_j で定義された j 番目の水質点 W_j が新しい座標では f_{ij} になるとすると、両者間に式 (5-15) の関係が成立する。

$$f_{ij} = L' x_j \quad \dots\dots\dots 5-15$$

L は p 組の方向余弦 \mathbf{l}_i ($i=1 \sim p$) を列ベクトルとする $p \times p$ のマトリックスである。

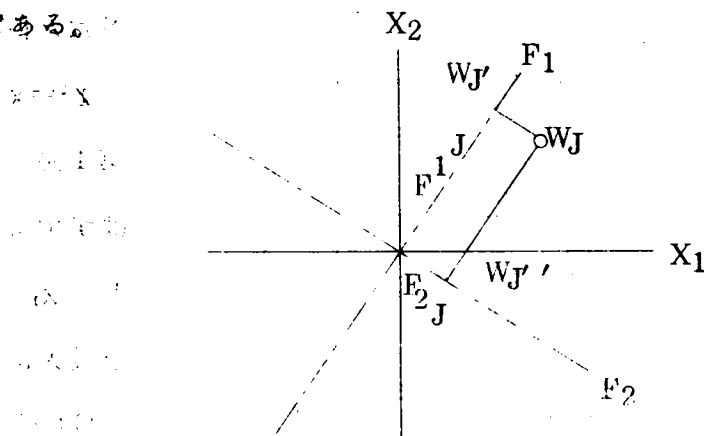


図5-2 だ円主軸の座標系ともとの座標系との関係

j 番目の水質点を第 1 主軸に正射影した点と原点との距離 OW_j は f_j の第 1 主軸上の元に相当する (図 5-2) ので、これを f_{1j} とすると

$$f_{1j} = \mathbf{l}_1' \mathbf{x}_j \dots\dots\dots 5-16$$

\mathbf{l}_1' は第 1 主軸の方向余弦転置ベクトルである。

水質を表わすサンプル点は N 個あるから、 $j=1 \sim N$ に対応して N 個の f_{1j} の分散は最初の座標における分散行列 Σ を直交変換することによって求められる。式 (5-10) あるいは式 (5-14) により

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{L}'\mathbf{L} &= \mathbf{I}_p \\ \mathbf{L}' &= \mathbf{L}^{-1} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots 5-17$$

Σ を \mathbf{L} によって直交変換した行列 $\mathbf{L}'\Sigma\mathbf{L}$ の第 i 行 j 列の要素 $\mathbf{l}_i' \Sigma \mathbf{l}_j$ は次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{l}_i' \Sigma \mathbf{l}_j &= \mathbf{l}_i' \lambda_j \mathbf{l}_j \\ &= \lambda_j \mathbf{l}_i' \mathbf{l}_j \\ &= \lambda_j \delta_{ij} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots 5-18$$

$$\mathbf{L}'\Sigma\mathbf{L} = \begin{bmatrix} \lambda_1 & & 0 \\ & \lambda_2 & \\ 0 & & \lambda_p \end{bmatrix} \dots\dots\dots 5-19$$

すなわち固有値 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p$ は第 1 主軸、第 2 主軸…第 p 主軸上の座標成分の分散、 $\text{VAR}(f_1), \text{VAR}(f_2), \dots, \text{VAR}(f_p)$ に相当することがわかる。

$$\sum_{i=1}^p \lambda_i = \sum_{i=1}^p \sigma_i^2 \dots\dots\dots 5-20$$

式 (5-20) の関係があるので λ_1 に比較して $\lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_p$ が無視できるならば

$$\lambda_1 \doteq \sum_{i=1}^p \sigma_i^2$$

このような場合、だ円体の第 1 主軸はすべての変量を (BOD、COD, …, SS, etc) を代表すると考えられる。

(4) 第1主軸と変量との相関³⁾

p次元空間におけるN個のサンプル点の第1主軸への射影を f_1 (f_{1j} , $j=1\sim N$)、オリジナルの第1軸への射影を x_1 (x_{1j} , $j=1\sim N$) で表わす。もとのデータは平均値からの偏差をとっているから、

$$\sum_{j=1}^N x_{1j} = 0 \dots\dots\dots 5-21$$

$$\sum_{j=1}^N f_{1j} = 0 \dots\dots\dots 5-22$$

したがって、標準偏差でわれば、平均0、分散1に基準化することができる。

$$f_{1j}/\sqrt{\lambda_1}, x_{1j}/\sigma_1 \dots\dots\dots 5-23$$

ここに λ_1 は Σ の最大の固有値、または $L'\Sigma L$ の主対角線の最初の要素、

σ_1 は Σ の主対角線の第1要素である。

f_1 と x_1 の相関係数 a_{11} は次のようになる。

$$a_{11} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (f_{1j}/\sqrt{\lambda_1}) \cdot (x_{1j}/\sigma_1) \dots\dots\dots 5-24$$

f_k と x_l ($k=1\sim p$, $l=1\sim p$) の相関係数 a_{kl} は上式の1をk, lにおきかえればよい。

(5) データ

解析の対象にしたデータは第4章に用いたのと同じのものである。すなわち、森ヶ崎下水処理内のエアレーションタンクの一系列化をこの実験の目的のために改良したプラントを用いて集めたものである。

本節ではその中から、1時間、2時間、3時間の3種類のエアレーション時間に対してえられた処理水の水質として、溶存性炭水化物 (SOL CH)、

溶存性蛋白質 (SOL PR)、溶存性COD (SOL COD)、溶存性BOD (SOL BOD)、炭水化物、蛋白質、COD、BOD、以上9種類を用いた。

(7) だ円体の位置と形状

測定値をエアレーション時間ごとにまとめて、マトリックス X の形に整理し、式(5-2)を用いて分散共分散行列 Σ を計算する。次に Σ の固有値 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_9$ を式(5-18)に代入すれば、だ円体の9本の主軸の長さを計算することができる。分散共分散行列や固有値を求めるために便利なプログラムが各メーカーの電子計算に用意されている。次に(5)の各式を用いて主軸の方向余弦、分散、分散の比率、分散の累積などの長い方から4本の主軸に関するものだけ

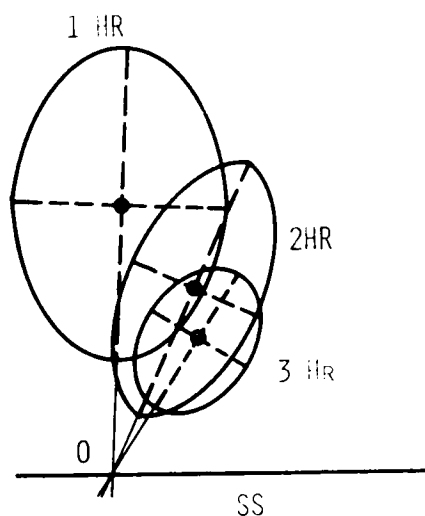


図5-3 だ円体のSS軸に対する傾き
および原点に対する位置

を取り上げ、エアレーション時間ごとにまとめて表(5-2)に表わした。表(5-3)にはだ円体の中心から原点までのユークリッド距離を記入してある。すべての変量に対する方向余弦が求められているから、だ円体の位置を幾何学的にきめることができる。一例として、図(5-3)に、浮遊物軸と第1主軸

表5-3 第一主軸のSS軸に対する角度およびだ円体の中心と原点との距離

| | 1 H R | 2 H R | 3 H R |
|----------------|---------|---------|---------|
| 原点からの距離 | 43.7 | 36.0 | 28.2 |
| SS軸に対する第一主軸の角度 | 88° 17" | 66° 47" | 58° 37" |

表 5-2 解析結果の総括

| | | 1 H R 曝気 | | | | 2 H R 曝気 | | | | 3 H R 曝気 | | | |
|-----------|----------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| オリジナル軸 | だ円主軸 | F ₁₁ | F ₁₂ | F ₁₃ | F ₁₄ | F ₂₁ | F ₂₂ | F ₂₃ | F ₂₄ | F ₃₁ | F ₃₂ | F ₃₃ | F ₃₄ |
| | 溶存炭水化物 | -0.092 | 0.107 | 0.105 | 0.116 | 0.124 | 0.353 | 0.5002 | 0.107 | 0.3098 | -0.2257 | -0.477 | 0.0655 |
| 方 | 溶存タンパク質 | 0.194 | 0.368 | 0.339 | 0.239 | -0.055 | -0.279 | 0.0346 | 0.613 | -0.1415 | -0.0259 | -0.017 | 0.5601 |
| | 溶存 C O D | 0.106 | -0.333 | -0.083 | 0.390 | -0.146 | -0.001 | -0.397 | -0.137 | 0.6757 | -0.3145 | 0.224 | -0.0351 |
| 向 | 溶存 B O D | -0.368 | 0.174 | -0.113 | 0.726 | 0.014 | 0.537 | -0.320 | 0.172 | 0.3703 | 0.3030 | 0.1415 | 0.1559 |
| | 炭水化物 | 0.401 | -0.378 | 0.009 | 0.016 | 0.376 | 0.102 | -0.281 | 0.576 | 0.3113 | -0.2979 | -0.175 | -0.1623 |
| 余 | タンパク質 | -0.258 | 0.022 | -0.596 | -0.368 | 0.519 | -0.025 | 0.025 | -0.452 | -0.2266 | -0.0502 | -0.4068 | -0.0127 |
| | C O D | -0.453 | -0.238 | -0.262 | 0.195 | 0.442 | -0.476 | -0.393 | -0.052 | 0.3502 | 0.5264 | -0.2863 | 0.4502 |
| 弦 | B O D | 0.446 | -0.403 | -0.343 | 0.250 | -0.246 | 0.357 | -0.501 | -0.157 | -0.1279 | -0.5636 | 0.222 | 0.5525 |
| | S S | 0.417 | -0.589 | 0.558 | -0.109 | 0.541 | 0.377 | 0.055 | 0.000 | -0.0533 | 0.2674 | 0.6117 | 0.0019 |
| 固 | 有 値 λ | 193.12 | 102.68 | 26.21 | 22.96 | 162.72 | 36.15 | 16.61 | 8.14 | 44.26 | 28.24 | 22.35 | 7.5 |
| 固 | 有 値 の % | 53.6 | 28.8 | 7.34 | 6.00 | 68.7 | 15.3 | 7.02 | 3.42 | 39.2 | 24.9 | 19.7 | 6.5 |
| 果 | 積固有値の % | 53.6 | 82.4 | 89.7 | 96.1 | 68.7 | 84.0 | 91.02 | 94.44 | 39.2 | 64.1 | 83.3 | 90.4 |
| 90%の判定値のは | | 55.55 | 40.5 | 20.46 | 19.15 | 50.99 | 24.03 | 16.29 | 11.40 | 26.59 | 21.24 | 18.89 | 6.5 |
| いるだ円の主軸 | | | | | | | | | | | | | |
| 主 軸 の 比 率 | | 1 | 0.73 | 0.415 | 0.345 | 1. | 0.47 | 0.32 | 0.22 | 1. | 0.81 | 0.71 | 0.22 |

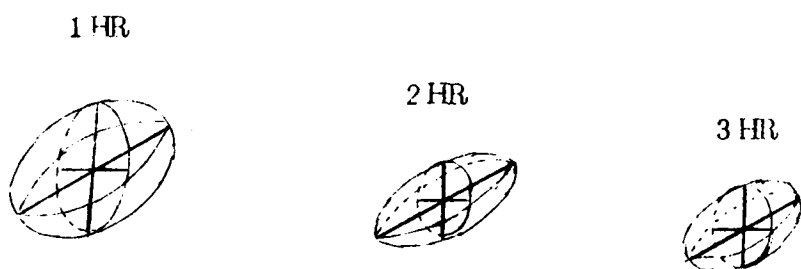


図5-4 90%の測定点を含む確率だ円体の形状

とが決定する平面上に、だ円体を射影した状態をエアレーション時間に対応して画いた。

4次元以上の超だ円体は図示のしょうがないので図(5-4)では長い方から3本の主軸を抜き出し、三次元のだ円体のスケッチを各エアレーション時間ごとに示した。主軸の長さは表(5-2)に記してある。これはベクトルで定義されるすべての水質点の90%を含むと期待されるだ円体のスケッチである。エアレーション時間が長くなるほどだ円体がコンパクトになることは、水質ベクトルが重心付近に分布することを意味する。また表(5-3)からエアレーション時間が長くなるほどだ円体は原点に近づくことがわかる。

以上は、エアレーション時間が長いほど浄化の程度が向上するという従来の常識的事実とパフォーマンスが安定するという前節の結果の幾可学的な表現に相当する。

(8) だ円体主軸の意義

前節で求めただ円体の主軸と、蛋白質、BOD…浮遊物など最初に選んだ9つの変量との相互関係を検討してみよう。

たとえば、1時間のエアレーションでえた浄化水のうちj番目のサンプルについて測定された9種類の変量が $SOL\ CH_j, SOL\ PR_j, \dots, SS_j$ であったとすれば、これらを元とするj番目の浄化水ベクトル x_i が9次元空間に定義される。 x_i で表わされる点 W_j を単位円の第一主軸上に正射影した点を W'_j としたとき、原点と W'_j との距離 f_{1j} は表(5-2)の1HRの欄の方向余弦を式(5-15)に代入することにより、次のようにして求めることができる。

$$f_{1j} = 0.092 SOL\ CH_j + 0.194 SOL\ PR_j \\ + 0.106 SOL\ COD_j + \dots - 0.417 SS_j \dots\dots\dots 5-25$$

サンプル数は40個であるから($j=1\sim 40$)、式(5-25)に代入すると、サンプル数に対応して40個の f_{1j} を求めることができる。40個の f_{1j} の分散を式(5-19)で計算して、表(5-2)の固有値の欄に記入してある。この場合の分散は193.12であり、全分散の53.6%に相当することが読みとれる。浄化水ベクトルの元を式(5-25)によって一次結合してできた f_{1j} は9つの変量の全変動の半分以上に相当する53.6%を説明する能力をもっている。同様に、第2主軸のそれ102.68、第3主軸26.21、以上3本の軸上の変動の累積百分比は表(5-2)の対応する欄から89.7%であることがわかる。

2時間滞留では3本の軸で全変動の91.02%、3時間で83.8%である。3時間滞留の場合、同数の主軸による変動の説明力の百分比は前2者にくらべてやや落ちるが、全変動自体がかなり小さいので、3本の主軸で説明できない残存変動は前2者よりも小さい。

1、2、3時間エアレーションいずれの場合でも、3本以上主軸の数を増加しても、変動の説明される量はほとんど増えない。直交する3本の主

軸によって変動の大半が説明されるという事実は変動の大半が3次元部分空間に所属していることを示すものである。

表(5-4)は式(5-24)にしたがって、だ円体の3本の主軸上の変動と9変量との相関係数を計算してその結果だけをまとめたものである。この数値が大きいと、対象としている変量と主軸との関係は深い。

1時間エアレーションにおいて第1主軸はすべての変量とかなり高い相関をもち、第2主軸と第3主軸とのそれは急速に小さくなってゆく。このことは第1主軸に全分散の53.6%が乗っていると計算された前述の結果と一致している。このような場合、だ円体の第1主軸は全体の変動を代表するものであるということができよう。

したがって、杉戸⁵⁾の清澄指標のように、多くの項目を用いて浄化水の水質を、表現する必要があるときには、第1主軸上への射影、すなわち式(5-25)を用いるのが合理的であろう。

エアレーションが2時間になると、表(5-4)の2HRの欄から明らかのように、1HRの場合といくらか違って来る。すなわち溶存BODと、BODの第1主軸に対する相関が低くなり、第2軸のそれが高くなっている。3時間エアレーションも2時間の場合と同じ傾向にある。エアレーション時間が長くなるとBODの変動の方向が変わったのである。つまり、BODの内容が変わってきた。いいかえるとエアレーション時間を長くしてえた浄化水では、短い場合ほどBODは CH_4 、PR、SS…と強い線形関係にないという事実が明らかにされたことになる。

表5-4 主軸と変量との相関係数

| 変量 | 主軸 | 1 H R 曝気 | | | 2 H R 曝気 | | | 3 H R 曝気 | | |
|----------|----|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | | F ₁₁ | F ₁₂ | F ₁₃ | F ₂₁ | F ₂₂ | F ₂₃ | F ₃₁ | F ₃₂ | F ₃₃ |
| 溶存炭水化物 | | 0.7584 | -0.2409 | -0.4286 | 0.8025 | -0.1592 | -0.4445 | -0.6018 | 0.0168 | 0.6494 |
| 溶存タンパク質 | | 0.8416 | -0.0193 | 0.1744 | 0.9014 | -0.2248 | 0.1777 | -0.7463 | -0.1408 | -0.4395 |
| 溶存 C O D | | 0.9230 | -0.1908 | -0.0492 | 0.9268 | 0.0908 | -0.0295 | -0.8193 | 0.2878 | 0.4191 |
| 溶存 B O D | | 0.5440 | 0.2722 | 0.7251 | 0.2955 | 0.8542 | -0.2790 | 0.2142 | 0.8181 | -0.4787 |
| 炭水化物 | | 0.7955 | 0.3119 | -0.3627 | 0.7278 | -0.2623 | -0.5680 | -0.5251 | 0.4388 | 0.3532 |
| タンパク質 | | 0.9220 | -0.1231 | 0.1508 | 0.8914 | -0.1799 | 0.3145 | -0.6118 | -0.3421 | -0.3176 |
| C O D | | 0.8671 | -0.0163 | -0.3813 | 0.9465 | 0.1498 | 0.0760 | -0.7892 | 0.4448 | 0.3870 |
| B O D | | 0.7539 | 0.4862 | 0.0982 | 0.0478 | 0.9373 | 0.0162 | -0.1735 | 0.7946 | -0.4873 |

4 判別指標の試作

浄化水の水質をベクトルと考え、その分布する確率的な範囲を規定する超だ円体の形状や主軸の変化の状態をエアレーション時間の長短と定量的に結びつける試みを前節で詳述した。この解析の工学的な応用として浄化水の管理がある。下水処理施設を標準的に運転して、原因のわかっている異常値を除いたデータに基づいて、だ円体の形状を求め、これと外的条件との関係を因子分析や回帰分析によって求めておくと、多変量に基づくプラント管理が可能になる。新たにえた水質ベクトルがあらかじめ求めておいただ円体の外側にくることが異常のあることを示し、いずれの方向にはずれたかで原因がわかるというわけである。本法を実用化することが今後の課題であるけれども、その第1歩としてつぎのような試みをした。

薬品処理や生物処理の変法の実験の結果えられた水質、あるいは実際プラントの運転中にえられた異常水質などが標準活性汚泥法でえられる水質とどれだけずれているか、あるいは標準活性汚泥法のどの程度の曝気時間の水質に対応するかを定量化する方法を検討してみる。

判別したい水質 X （位置ベクトル x で定義される）がどのだ円体内に位置するかを問題にする。たとえば X が一時間曝気のだ円体内に分布するならばその水質 X は標準活性汚泥法一時間曝気の結果えた水質に等しいと結論するわけである。

図（5-3）からわかるように、3種のだ円体の一部が重複している。1時間、2時間、3時間のいずれのだ円体にも共通する部分が存在するわけである。もしこの共通部分に X がはいると判別が不可能になる。これを防止するためにつぎのように考える。

(1) 分散行列(Σ)が未知あるいは等しくない場合

る円体の重心 \bar{X}_i を位置ベクトル \bar{x}_i ($i = 1, 2 \dots q$, 今の場合 1 時間、2 時間、3 時間の各エアレーション時間に対応する円体があるので、 $q = 3$) で表わしたとき、判別したい水質 X と \bar{X}_i との距離が i のどの値のとき最小になるかを計算する。たとえば $i = k$ のとき、 $X \bar{X}_i$ が最小になったとすれば X は k に属すると判定を下すわけである。

X と \bar{X}_i との距離⁶⁾は

$$d^2_i = \|x - \bar{x}_i\|^2 \dots\dots\dots 5-26$$

式 (5-26) で表わすことができる。これを展開すると式 (5-27) をえる。

$$d^2_i = x'x - 2\bar{x}_i'x + \bar{x}_i'\bar{x}_i \dots\dots\dots 5-27$$

さらに式 (5-27) を x に関して展開式して、つぎのように表わす。

$$L_i = \beta_{0i}x_0 + \beta_{1i}x_1 + \beta_{2i}x_2 + \beta_{3i}x_3 \dots\dots \beta_{pi}x_p \dots\dots 3-29$$

$$i = 1 \sim q \quad q = 3$$

式 (5-29) を L_1, L_2, L_3 のそれぞれについて計算し、実測値を x_i に代入して最小値を与える L_i を決定すればよい。

(2) 分散行列が既知で等しい場合

判別すべき水質の集団の分布の形が活性汚泥法の処理水質のそれに等しいことがわかっている場合には式 (5-26) で示されるユークリッド平方距離、 d^2_i のかわりに、それを分散共分散行列でわって無名化した

$$d^2_i = (x - \bar{x}_i)' \Sigma_i^{-1} (x - \bar{x}_i) \dots\dots\dots 5-30$$

式 (5-30) を用いる方が好ましい。式 (5-30) で表される d^2_i はマハラノビシュ⁶⁾の標準距離ともいわれるものである。2つのグループについて、グループ間の分散と、グループ内の変動との比が最大になるという条件を式 (5-30) は満すことが証明されているので、式 (5-30)

を用いる方が判別の誤差が少い。またその判別の精度も計算できる。

Σ_i は i によらず一定であると仮定したから、これを改めて Σ とする。
つぎに判別すべき水質点 X (位置ベクトル x で表す) とだ円体 i の重心 \bar{X}_i との標準平方距離を d_i^2 , \bar{X}_j とのそれを d_j^2 とすると、式 (5-31) の関係が成立する。

$$\begin{aligned} d_i^2 - d_j^2 &= (x - \bar{X}_i)' \Sigma^{-1} (x - \bar{X}_i) - (x - \bar{X}_j)' \Sigma^{-1} (x - \bar{X}_j) \\ &= 2 \left\{ (\bar{X}_i' \Sigma^{-1} x - \frac{1}{2} \bar{X}_i' \Sigma^{-1} \bar{X}_i) - (\bar{X}_j' \Sigma^{-1} x - \frac{1}{2} \bar{X}_j' \Sigma^{-1} \bar{X}_j) \right\} \\ &\dots\dots\dots 5-31 \end{aligned}$$

式 (5-31) は $X \bar{X}_i$ と $X \bar{X}_j$ との差を示している。したがって、式 (5-31) が負ならば X は \bar{X}_j に近く、正ならば \bar{X}_i に近い位置に存在することがわかる。換言すれば、式 (5-31) の右辺第二項のかっこ内を最大にする \bar{X}_j に X が属していると考えてよい。これを改めて式 (5-32) で表わす。

$$L_j = \bar{X}_j' \Sigma^{-1} x - \frac{1}{2} \bar{X}_j' \Sigma^{-1} \bar{X}_j = \bar{X}_j' \Sigma^{-1} (x - \bar{X}_j/2) \dots\dots\dots 5-32$$

式 (5-32) を x について展開する。

$$\begin{aligned} L_j &= \alpha_{0j} x_0 + \alpha_{1j} x_1 + \alpha_{2j} x_2 + \dots\dots + \alpha_{pj} x_p \dots\dots\dots 5-33 \\ &\quad j=1 \sim q \quad q=3 \end{aligned}$$

だ円体が3つあるから、式 (5-33) は3種類求められるので、それぞれの x に相当する値を代入して、 L_j を計算する。そのとき最大値が L_1 が与えたとすれば、 X は \bar{X}_1 に属すると判定する。

式 (5-29)、あるいは式 (5-32) の L_j を判別指標と呼ぶことにする。

| ろ 過 液 | | | | | ろ 過 前 | | | | | |
|----------------|---------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|-------|--------|-------|
| 定 数 | 炭水化物 | タンパク | COD | BOD | 炭水化物 | タンパク | COD | BOD | SS | 透視度 |
| L ₁ | -23.026 | 0.134 | -0.109 | 0.117 | 0.147 | -0.052 | 0.088 | 0.954 | -0.042 | 0.347 |
| L ₂ | -23.106 | 0.294 | 0.187 | 0.276 | 0.131 | -0.081 | -0.306 | 0.879 | 0.020 | 0.401 |
| L ₃ | -23.488 | 0.269 | -0.373 | 0.276 | 0.349 | -0.066 | -0.088 | 0.543 | -0.125 | 0.451 |

表 5-5 判 別 指 標 の 係 数

| L _j | 定 数 | ろ 液 | | " タンパク質 | " COD | " BOD | 炭水化物 | タンパク質 | COD | BOD | SS | 透視度 |
|----------------|---------|------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 炭水化物 | 炭水化物 | | | | | | | | | |
| L ₁ | 2388.01 | 6.51 | 11.63 | 11.63 | 18.72 | 11.67 | 10.69 | 15.47 | 21.62 | 16.22 | 12.77 | 21.83 |
| L ₂ | 2638.48 | 7.11 | 9.75 | 9.75 | 17.06 | 9.00 | 3.72 | 11.84 | 18.97 | 12.98 | 11.06 | 36.11 |
| L ₃ | 3372.93 | 7.16 | 5.18 | 5.18 | 13.39 | 6.92 | 8.17 | 7.45 | 14.83 | 9.69 | 6.62 | 50.87 |

表 5-8 判 別 指 標 の 係 数 (ノンパラメトリック)

| グルー | % | ろ液
炭水化物 | "
タンク質 | "
COD | "
BOD | 炭水化物 | タンク質 | COD | BOD | SS | 透視度 |
|-----------|----|------------|-----------|----------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 一 時 間 曝 気 | 1 | 2.00 | 11.00 | 15.00 | 7.60 | 4.40 | 11.00 | 16.00 | 10.80 | 7.00 | -35.00 |
| | 2 | 7.60 | 13.00 | 19.00 | 9.80 | 10.60 | 15.00 | 24.00 | 13.20 | 13.00 | -20.00 |
| | 3 | 14.40 | 18.00 | 28.00 | 14.40 | 15.60 | 28.00 | 30.00 | 20.80 | 22.00 | -12.00 |
| | 4 | 4.80 | 0.00 | 12.00 | 8.60 | 6.40 | 3.00 | 13.00 | 12.20 | 14.00 | -33.00 |
| | 5 | 3.20 | 12.00 | 19.00 | 8.60 | 4.40 | 13.50 | 19.20 | 12.20 | 13.00 | -25.00 |
| | 6 | 6.40 | 14.00 | 20.00 | 21.10 | 6.80 | 22.00 | 21.00 | 21.90 | 23.00 | -16.00 |
| | 7 | 7.60 | 12.50 | 17.00 | 12.00 | 7.60 | 19.50 | 24.00 | 18.00 | 14.00 | -17.00 |
| | 8 | 3.20 | 14.50 | 18.00 | 14.00 | 4.80 | 14.50 | 20.00 | 20.00 | 3.00 | -18.00 |
| | 9 | 6.40 | 12.00 | 18.00 | 15.00 | 6.40 | 14.50 | 25.00 | 23.00 | 8.00 | -19.00 |
| | 10 | 4.40 | 12.00 | 14.90 | 8.40 | 4.00 | 15.00 | 17.00 | 12.60 | 10.00 | -28.00 |
| 二 時 間 曝 気 | 11 | 10.80 | 18.00 | 25.00 | 10.00 | 11.20 | 20.00 | 25.00 | 12.00 | 14.00 | -19.00 |
| | 12 | 10.00 | 19.00 | 32.00 | 10.00 | 11.60 | 19.00 | 34.00 | 14.00 | 20.00 | -19.00 |
| | 13 | 7.60 | 14.50 | 28.00 | 19.00 | 10.40 | 15.00 | 32.00 | 20.00 | 18.00 | -19.00 |
| | 14 | 6.80 | 12.50 | 14.00 | 4.00 | 6.80 | 12.50 | 16.20 | 11.00 | 14.00 | -37.00 |
| | 15 | 7.60 | 12.00 | 17.00 | 9.60 | 7.60 | 17.50 | 20.00 | 12.40 | 17.00 | -26.00 |
| | 16 | 6.00 | 4.40 | 15.00 | 7.80 | 6.40 | 9.00 | 16.00 | 11.20 | 7.00 | -55.00 |
| | 17 | 5.20 | 2.80 | 18.00 | 9.80 | 6.90 | 4.80 | 18.00 | 12.30 | 11.00 | -52.00 |
| | 18 | 7.60 | 9.00 | 13.00 | 5.80 | 11.60 | 9.00 | 13.00 | 8.80 | 6.00 | -62.00 |
| | 19 | 9.20 | 10.00 | 17.00 | 4.30 | 12.40 | 11.00 | 18.00 | 8.60 | 12.00 | -32.00 |
| | 20 | 6.40 | 7.50 | 12.00 | 18.00 | 7.60 | 8.00 | 13.00 | 18.00 | 7.00 | -26.00 |
| 三 時 間 曝 気 | 21 | 5.20 | 5.50 | 18.00 | 4.40 | 6.80 | 5.50 | 19.00 | 5.70 | 6.00 | -42.00 |
| | 22 | 6.40 | 6.50 | 23.00 | 6.40 | 7.20 | 9.50 | 24.00 | 10.00 | 15.00 | -46.00 |
| | 23 | 3.60 | 5.00 | 11.00 | 14.90 | 6.00 | 5.50 | 12.00 | 19.70 | 3.00 | -65.00 |
| | 24 | 11.60 | 2.00 | 12.00 | 13.50 | 16.00 | 3.00 | 14.00 | 14.50 | 4.00 | -50.00 |
| | 25 | 8.00 | 6.50 | 14.00 | 11.40 | 11.20 | 9.00 | 16.00 | 11.70 | 7.00 | -36.00 |
| | 26 | 5.20 | 7.50 | 15.00 | 6.00 | 8.00 | 1.00 | 18.00 | 7.00 | 9.00 | -40.00 |
| | 27 | 7.60 | 7.50 | 13.00 | 5.00 | 9.60 | 11.20 | 14.00 | 7.50 | 4.00 | -48.00 |
| | 28 | 6.40 | 5.50 | 9.00 | 5.10 | 8.40 | 6.50 | 10.00 | 6.50 | 5.00 | -90.00 |
| | 29 | 5.60 | 3.00 | 11.50 | 4.90 | 6.40 | 5.50 | 13.00 | 8.50 | 10.00 | -60.00 |
| | 30 | 4.00 | 7.50 | 13.00 | 6.80 | 4.40 | 11.00 | 14.00 | 0.70 | 5.00 | -55.00 |

表5-6 実 測 デ ー タ

| 順 | 実際の曝気時間 | 確 率 | 判 別 |
|----|---------|-------|-----|
| 1 | 1 | 0.643 | 2 |
| 2 | | 0.554 | 1 |
| 3 | | 0.943 | 1 |
| 4 | | 0.560 | 3 |
| 5 | | 0.619 | 2 |
| 6 | | 0.936 | 1 |
| 7 | | 0.947 | 1 |
| 8 | | 0.768 | 1 |
| 9 | | 0.970 | 1 |
| 10 | | 0.627 | 1 |
| 11 | 2 | 0.641 | 2 |
| 12 | | 0.799 | 2 |
| 13 | | 0.532 | 2 |
| 14 | | 0.857 | 2 |
| 15 | | 0.649 | 1 |
| 16 | | 0.882 | 3 |
| 17 | | 0.380 | 2 |
| 18 | | 0.518 | 2 |
| 19 | | 0.768 | 2 |
| 20 | | 0.538 | 2 |
| 21 | 3 | 0.889 | 3 |
| 22 | | 0.788 | 3 |
| 23 | | 0.489 | 3 |
| 24 | | 0.889 | 3 |
| 25 | | 0.600 | 3 |
| 26 | | 0.682 | 2 |
| 27 | | 0.733 | 3 |
| 28 | | 0.942 | 3 |
| 29 | | 0.836 | 3 |
| 30 | | 0.615 | 3 |

表5-7 判 別 の 結 果

| 実際の
グループ | d_1^2 | d_2^2 | d_3^2 | 判 別 |
|-----------------------|---------|---------|---------|-----|
| 一
時
間
曝
気 | 204.95 | 83.30 | 93.11 | 2 |
| | 21.70 | 57.84 | 301.13 | 1 |
| | 553.89 | 881.03 | 1553.78 | 1 |
| | 458.65 | 254.58 | 124.21 | 3 |
| | 86.12 | 50.12 | 213.41 | 2 |
| | 281.85 | 491.54 | 971.00 | 1 |
| | 41.14 | 135.88 | 445.75 | 1 |
| | 173.15 | 201.48 | 381.11 | 1 |
| | 2934.80 | 3251.53 | 3582.81 | 1 |
| | 124.66 | 59.54 | 155.69 | 2 |
| 三
時
間
曝
気 | 346.12 | 246.91 | 203.14 | 3 |
| | 607.58 | 385.47 | 153.70 | 3 |
| | 363.17 | 160.51 | 52.68 | 3 |
| | 200.03 | 73.37 | 85.57 | 2 |
| | 276.11 | 114.27 | 68.20 | 3 |
| | 723.34 | 413.06 | 120.25 | 3 |
| | 163.25 | 48.26 | 54.18 | 2 |
| | 479.95 | 271.93 | 139.04 | 3 |
| | 956.64 | 634.66 | 337.37 | 3 |
| | 362.15 | 171.08 | 30.68 | 3 |

表5-9 ノンパラメトリック判別指標の値

5.2 実例計算

第4章のアペンデックスのデーターをエアレーション時間に編成しなおし、各時間ごとに炭水化物、蛋白質、COD、BOD、SS、透視度、ろ液の炭水化物、タンパク質、COD、BODの10項目について式(5-33)の係数を計算し、表(5-5)に示した。ここで問題は分散共分散行列(Σ_j)がエアレーション時間の長さにより、相違している点である。すなわち

$$\Sigma_1 \neq \Sigma_2 \neq \Sigma_3 \dots\dots\dots 5-34$$

つまり式(5-30)から式(5-33)へ変形するプロセスの基礎となる仮定が満されていない。そこで、強引すぎるきらいが残るが、共通の Σ として、エアレーションごとに編成したデーターを再び統合し、全データーから改めて分散共分散行列を計算したものをを用いた。こうしてえた Σ と各だ円円体の重心の座標の値を式(5-32)に代入することによって、式(5-33)の右辺の係数(α)を求めた、結果を表(5-5)に記入した。

$$L_1 = -23.026 + 0.134x_1 - 0.109x_2 + 0.117x_3 \dots\dots + 0.347x_{10}$$

$$L_2 = -23.106 + 0.294x_1 + 0.187x_2 + 0.276x_3 \dots\dots + 0.401x_{10}$$

$$L_3 = -23.488 + 0.269x_1 - 0.373x_2 + 0.276x_3 \dots\dots + 0.451x_{10}$$

式(5-35)はこうして求めたものである。 \dots\dots\dots 5-35

ところで表(5-6)は曝気時間として1~3時間の下で活性汚泥法で処理された水質である。これを一行ずつ、式(5-35)に代入し、 L_1 , L_2 , L_3 のいずれが最大になるかを計算し、結果を表(5-7)に示した。同表の左端の番号は表(5-6)のデーターの番号に対応する。右端は L_1 , L_2 , L_3 のうちいずれが最大になったかを示す。中央はその判定の信頼度である。表(5-7)においてデーターNoの1~10は実際の曝気時間1時間

のとき生じた水質のグループであるが、そう正しく判定されたのは16, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 10であった。この場合の正当率70%である。2時間曝気の場合の正当率は80%、3時間曝気では90%である。

式(5-27)を用いて判別を行なった場合はつぎのようになる。式(5-29)の係数は表(5-8)のようになる。表(5-6)のデータを用いて、式(5-29)の判別指標の計算値を表(5-9)に示した。1時間曝気の処理水であるにもかかわらず、そうでないと判別されたのは3個、正当率は70%、3時間曝気のそれは80%である。表(5-9)と表(5-7)とを比較すると、表(5-7)の方が正当率が高いことがわかる。したがって、分散共分散行列が既知で同一という仮定が完全に満たれなくとも、ハマノノビスの標準距離、式(5-30)を用いる方が良好な結果がえられている。

5 考察と総括

曝気時間が長くなることの意義は、処理水水質をあらわす変量の平均値が小さくなるという周知の事実の他、1) 制御できない未知変動が小さくなる、2) プロセスのパフォーマンスが安定する、3) 変量相互間の関係が変化する以上3項目にあることを明らかにした。上述のことは、1) 予測空間と実測空間とのなす角度、2) 測定値が分布する空間の密度、3) だ円体の主軸の比率、にそれぞれ対応して定量的に記述されるのである。

上記3項のうち1)と2)について別の研究者の成果と照合してみよう。高松⁷⁾はエアレーションタンク内のBODの除去のメカニズムをプロセス方程式であらわし、出力に対する入力の変動の影響を明らかにしたのち、「タンク内の滞留時間が小さいほど入力変動が出力により大きく影響する」

と述べている。本章の解析結果は「入力を完全にコントロールしても出力に原因不明の変動が表われる」であるから、高松の記述とは意味するところが違っている。しかしながら、高松のいう buffer 能の不足が、エアレーション時間の短い場合、何か未知の要因の影響を完全に吸収することを妨げているのかもしれない。

南部⁸⁾は、「エアレーションタンク内における BOD の除去は MLBOD の関数であるが、エアレーション時間が短いとこの MLBOD の値が不安定になる」と述べている。本章で用いたデータは MLBOD を含んでいないので、南部の方法によって本章の結果を再検討することは不可能であるが、定性的には本章は南部の理論を多量のデータで実証したようなことになっている。

上述の第3番目の結論の BOD と他の水質項目との線形関係が、エアレーションを受けた時間の長さによって、変わってくるという事実は曝気の影響の受け方が水質の項目によって違ったものであることを意味する。これはまた BOD を COD でおきかえることが成功したり、しなかったり、あるいは同一値でありながら生物で処理し難い BOD やし難い BOD の存在することの理由の一つと考えられる。

6 参 考 文 献

- 1) 田 中 良 久：“講座心理学2，計量心理学”，東大出版会、1969.
- 2) 北 川 敏 男：“多変量解析”，共立出版、1969
- 3) 芝 祐 順：“相関分析法”，東大出版会、1969
- 4) 原 田 重 春（訳）：“現代ベクトル解析”，岩波書店、1968

- 5) 杉 戸 清：“下水道（上）”、技報堂
- 6) 増 山 元三郎：“少数例のまとめ方”、竹内書房、1964
- 7) 高松・橋本・塩谷：“入力変動を考慮した活性汚泥法処理プロセスの合理的設計”、下水道協会誌、Vol.8, №91, 12月, 1971
- 8) 南 部 牂 一：“活性汚泥法の設計因子についての検討”、下水道協会誌、Vol.80, №80, 2月, 1970

第6章 だ円体の主軸による水質指標の類似性の解析

| | |
|----------------------------|-----|
| 1. 概論..... | 176 |
| 2. だ円体の直交回転による水質指標の分類..... | 176 |
| 3. 等価水質指標の作製..... | 182 |
| 4. だ円体主軸の意義の同定..... | 185 |
| 5. 考察と総括..... | 190 |
| 6. 参考文献..... | 191 |
| 7. アペンデックス..... | 192 |

1 概 論

水質項目の一群がだ円体の第1主軸に、別の項目の一群は第2主軸に、それぞれ高い相関をもち、しかも第1主軸と第2主軸とは直交しているという前章の結果はこの場合の下水の浄化水質には2つの属性があって、数多くの水質試験も、2つの属性の一つ一つを違った方向から眺めているにすぎない、ということの意味する。同一の主軸に高い相関係数をもつ水質項目は同一属性をあらわすものであるから、同じ特性をもつ水質項目と考えることができる。本章ではだ円体の主軸をさらに回転することにより積極的に水質項目の分類を試み、ついで主軸の意義を究明する。

2 だ円体の直交回転による水質指標の分類

(1) データ

水質試験項目の分類という目的を達成するには、試験項目の数の豊富さがとくに望ましいので、東京都のある実物下水処理場の精密試験結果を用いる。精密試験は1日1回、48時間にわたり2時間間隔でサンプリングをしたのち、流量に比例したコンポジットサンプルに関し、透視度、蒸発残留物、ボラタイルマター、溶解性分質、浮遊物、BOD、COD、総チッ素、アンモニア性チッ素、有機性チッ素、以上10項目の分析をなしたものである。本章の解析の目的のためにこの下水処理場の10ヶ月分の精密試験の結果を集めた。これは上記10項目の試験の10回分に相当する。この処理場は1日当り45万 m^3 の下水をスラップエアレーション法によって処理している。使用したデータを本章のアペンデックスに収録した。

(2) だ円体の主軸の特性

表(6-1)に前章で述べた諸式を用いて求めた。

表 6-1 だ円体の主軸と変量との相関係数

| | F ₁ | F ₂ | F ₃ |
|-----------|----------------|----------------|----------------|
| 透 視 度 | -0.830 | 0.053 | 0.019 |
| 蒸 発 残 留 物 | 0.714 | 0.625 | 0.306 |
| ボラタイルマター | 0.555 | -0.196 | 0.576 |
| 溶 解 物 | 0.608 | 0.725 | 0.319 |
| 浮 遊 物 | 0.803 | -0.455 | -0.013 |
| B O D | 0.596 | -0.301 | 0.427 |
| C O D | 0.878 | -0.314 | 0.049 |
| 総 チ ッ 素 | 0.831 | 0.056 | -0.510 |
| アンモニア性チッ素 | 0.670 | 0.476 | -0.530 |
| 有機性チッ素 | 0.817 | -0.290 | -0.342 |
| 分散の百分比 | 53.3% | 16.8 | 13.7 |
| 分散の%累積 | 53.3 | 70.7 | 83.8 |

表(6-1)に前章で述べた諸式を用いて求めた上記10項目の水質指標とだ円体の主軸との相関係数、および主軸上の分散を記入してある。3本の主軸の分散の総和は全体の83.4%に達することがわかる。直交する3本の主軸を座標軸とする3次元部分空間で10次元の変動のほとんど大部分を記述できる。いかえると、10種類の水質項目があるけれども、結局3種類の特性量を異なった立場から表現しているにすぎず、10種類の水質項目を3つのグループに分類できることを意味する。

以下水質項目を変量と呼ぶことにする、

(3) 主軸の直交回転

ベクトルで表わされる水質サンプルの点群をそのままにして、3本の主軸を原点を中心にして直交回転することを試みる。大部分の変動の属する3次元部分空間の座標系を直交変換しようとする。その直交変換の基準は、第1主軸は10個の変量のうち一部のものとはなるべく高い相関をもつように、他の変量とはなるべく低い相関をもつようにし、そして第2主軸は別の一部の變量と高い相関をもち先の第1主軸と高い相関をもっていた変量とは低い相関をもつようにする。第3主軸は前2者と低い相関をもった変量と高い相関をもつようにする。個々の主軸はそれぞれ高い相関をもつ変量の方向を示すので、その主軸が変量群を代表し、その変量群は同じ特性をもつというわけである。すなわち、10個の変量が3本の主軸によって統計的に分類されたことになる。

だ円主軸の回転のための直交変換行列を求めるための数学的手法は次のようになる。

表(6-1)にあげた10個の変量は表(6-1)の相関係数を座標成分にしてだ円体の主軸を座標軸にする空間にプロットすることができる。たとえば、透視度は第1主軸に対して-0.830、第2軸に対して0.053、第3軸に対し、0.19という座標成分をもっと考えるのである。

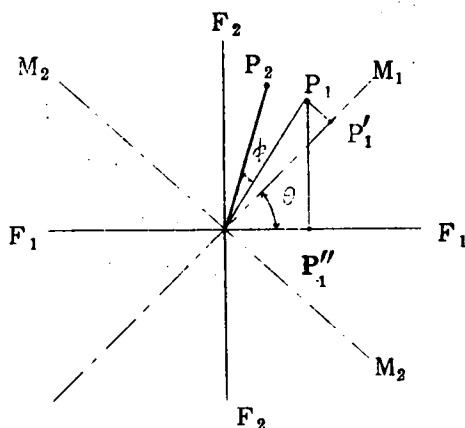


図 6-1 だ円主軸の直交回転

同様にして、10個の変量が座標系にプロットされる。3次元空間は図示が困難なので、以下説明の簡便のため、第1主軸と第2主軸だけをもつ2次元平面を考える。図(6-1)に示したように2本の主軸 $F_1 - F_2$ が決定する平面に P_1 と P_2 との2個の変量があるとする。もし P_1 が透視度であるとすればその座標は $(-0.830, 0.053)$ で表わされることになる。

さて両変量の相対位置、すなわち角度 ψ 、を一定のまま、 $F_1 - F_2$ 軸を直交回転して $M_1 - M_2$ になったとする。 P_1 の座標成分が $F_1 - F_2$ 座標系に対し (b_{11}, b_{12}) であり、 $M_1 - M_2$ 座標系に対し (a_{11}, a_{12}) であるとする、両者の間には式(6-1)の関係が成立する。

$$\left. \begin{aligned} a_{11} &= b_{11} \cos \theta + b_{12} \sin \theta \\ a_{12} &= -b_{11} \sin \theta + b_{12} \cos \theta \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots 6-1$$

一般に

$$(a_{ij} \ a_{ik}) = (b_{ij} \ b_{ik}) \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \dots\dots\dots 6-2$$

M_1 が一群の変量と高い相関を、ほかの一群と低い相関を、 M_2 が他の一群の変量と高い相関をほかとは低い相関をもつよう回転角 θ を決定することは、 M_1 軸上の相関係数 a_{ij} の分散が最大になることに等しい。

$$\sigma^2 = \frac{1}{p} \sum_{j=1}^p \left(a_{ij}^2 - \frac{1}{p} \sum_{j=1}^p a_{ij}^2 \right)^2 \dots\dots\dots 6-3$$

$$\sigma^2_{Total} = \sum_{i=1}^q \sigma_i^2 \dots\dots\dots 6-4$$

p = 変数の数(10)、 q = 軸の数(3)

相関係数が小さいとはマイナスになるということではなく絶対値が小さ

いという意味であるから式 (6-4) では相関係数自体の分散ではなく自乗の分散をパラメーターに選んでいる。

式 (6-2) を式 (6-3) へ代入し、 σ_{total} を θ で偏微分して 0 とおけば、 σ_{total} を最大にする回転角 θ は次の式で計算することができる。¹⁾

$$4\theta = \tan^{-1} \frac{D - 2AB/P}{C - (A^2 - B^2)/P} \dots\dots\dots 6-5$$

$$\text{ここに } u_i = b_{ij}^2 - b_{ik}^2$$

$$v_i = 2b_{ij} \times b_{ik}$$

$$A = \sum_i^P u_i$$

$$B = \sum_i^P v_i$$

$$C = \sum_i^P (u_i^2 - v_i^2)$$

$$D = 2 \sum_i^P u_i v_i$$

このようにして θ が計算されると $F_1 - F_2$ 座標系を $M_1 - M_2$ 座標へ変換するための変換行列 T はただちに求めることができる。

$$T = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \dots\dots\dots 6-6$$

以上は 2 次元の例であるから 3 次元の場合には $F_1 - F_2$ を直交変換したのち、 $F_2 - F_3$ をもう一度直交変換する必要がある。

直交変換行列 T の数値解を求める手法は心理学の分野で発達してきた Kaiser²⁾ のバリマックス法と同一であるから、富士通の KEMP、日立の SSS、IBM の BMD など収録されているプログラムの一部を修正すると、ただちにコンピュータの利用が可能である。

(4) 計算結果

表(6-1)にのべた16個の変量につき前節(3)に示した解析をばどこし、結果を表(6-2)にまとめた。表中の数字は主軸を直交回転してえた新しい座標軸に対する相関係数である。

表 6-2 直交回転した座標軸と変量との相関係数

| | M_1 | M_2 | M_3 |
|-----------|--------|--------|--------|
| 透 視 度 | -0.707 | 0.393 | -0.113 |
| 蒸発残留物 | 0.242 | 0.963 | 0.089 |
| ボラチルマター | 0.274 | 0.338 | 0.713 |
| 溶 存 物 | 0.116 | 0.990 | 0.022 |
| 浮 遊 物 | 0.300 | 0.830 | 0.435 |
| B O D | 0.423 | 0.245 | 0.610 |
| C O D | 0.806 | 0.201 | 0.428 |
| 総 チ ッ 素 | 0.896 | 0.297 | 0.275 |
| アンモニア性チッ素 | 0.557 | -0.487 | -0.456 |
| 有機性チッ素 | 0.947 | 0.079 | 0.062 |

同表の数値の大きさで分類すると、 M_1 のグループには透視度、COD、総チッ素、アンモニアチッ素、有機性チッ素が属する。 M_2 のグループでは蒸発残留物、溶存物、浮遊物が分類され、 M_3 のグループにはボラチルマターとBODが属する。同じグループ内の変量は同じ特性をもつものであり、お互いに線形関係にある。たとえば M_1 グループで、CODが大になればチッ素類も大きくなる、 M_3 グループでは、BODが大になるとボラチルマターも大になることが判明する、また M_1 、 M_2 、 M_3 はお互いに直交する直線であるから、3つのグループ間の相互関係は理

論的には独立である。 M_3 の BOD が大になっても、必ずしも M_1 の透視度が良好になるものではないというのがその例である。

3 等価水質指標の作製

下水道法は下水浄化水の放流基準に BOD_5 と浮遊物を選んでいるから、下水処理施設もこの二つの変量を指標にして運転することが望ましい。浮遊物はよいとして、 BOD_5 を指標にする場合には、 BOD_5 の値が判明するまでに 5 日もかかるという問題がある。5 日の時間遅れは下水処理施設の運転管理上致命的な欠点になる。対象とする浄化水が流れ去った 5 日後にその水質がわかったとしても何の意味もないからである。この解決策として、BOD を COD でおきかえる従来の試みはある程度実用できることが認められているが、本章の解析によればいつも成功するものではないことがわかった。数多くの変量を用いて BOD_5 にかわりうる指標をつくり、それがプラントの運転条件をどのように反映して変化するかを検討する。数多くの変量を採用することにより、単一の変量に比し、 BOD_5 を推定する精度が上昇すると考えられる。

第 4 章の実験プラントから得たデーターから透視度、COD、タンパク質、炭水化物の 4 者により BOD を代用する指標を作る試みをする。プラントの運転条件の変化に応じて浄化水の水質を詳しく分析しているので、こうしてできた代用指標が運転条件のどのように反応するか検討しやすい。これが第 4 章の実験プラントでえたデータを用いる理由である。

この指標 e は上記 4 者の一次結果で表わすことができると考える。

$$e = r_1 \times \text{透視度} + r_2 \times \text{COD} + r_3 \times \text{タンパク質} + r_4 \times \text{炭水化物} \\ + \text{定数} \cdots \cdots 6-7$$

$r_1 \sim r_4$ は係数である。この e が処理水 BOD をうまく代表するためには、 e と BOD とのピアソンの偏差積率相関係数が最大になるように $r_1 \sim r_4$ を決定すればよい。このための手法はいわゆるキャノニカル相関分析法そのままであるので詳細は省略する。

以上のような手法によって算出した水質指標は、次のようになる。

$$e = 20.81 + 0.13 \times TR + 0.15 \times COD + 0.17 \times PRO + 0.17 CH \cdots \cdots \cdots 6-8$$

実測した BOD_5 と式 (6-8) で計算した BOD を表 (6-4) に示した。

表 (6-4) 処理水 BOD_5 の実測値と等価指標による推定値

| データ番号 | 実 測 値 | 推 定 値 |
|-------|-------|-------|
| 1 | 16.0 | 14.8 |
| 2 | 14.4 | 14.9 |
| 3 | 14.2 | 14.4 |
| 4 | 14.5 | 13.9 |
| 5 | 16.0 | 13.6 |
| 6 | 11.6 | 12.6 |
| 7 | 10.8 | 12.4 |
| 8 | 10.2 | 12.4 |
| 9 | 13.6 | 13.0 |
| 10 | 15.5 | 13.5 |
| 11 | 15.7 | 13.6 |
| 12 | 11.8 | 12.4 |
| 13 | 10.9 | 13.1 |
| 14 | 12.8 | 12.7 |

| データ番号 | 実 測 値 | 推 定 値 |
|-------|-------|-------|
| 15 | 14.0 | 12.7 |
| 16 | 14.9 | 15.7 |
| 17 | 15.2 | 16.0 |
| 18 | 16.8 | 15.9 |
| 19 | 13.9 | 16.4 |
| 20 | 15.7 | 16.4 |

実測値が大きいとき、計算値が小さく、実測値が小さいとき計算値は大きい値をとるようである。また、両者の相関係数は 0.62 であるから、式 (6-8) の e はますます BOD を大差なく近似していると考えてよからう。こうして算定した BOD_5 にかわるべき等価指標が下水処理プラントの運転条件であるエアレーション時間、原水温度、 $MLSS$ 、原水 BOD の変化をどのように反映するかを明らかにするために、第 4 章の方法にしたがって両者の関係式を求めた。t 検定の結果 $MLSS$ と原水 BOD が除去された、最終結果は表 (6-5) である。等価指標はエアレーション時間の変化を大きく、原水温度の変化をやや大きく受けるようである。

| 独立変数名 | 係 数 | t 値 | 従属変数: e |
|---------|------|------|-----------|
| 定 数 | 2251 | | |
| 曝 気 時 間 | -259 | -652 | |
| 温 度 | -018 | -242 | |

表 6-5 BOD の等価指標 e と処理条件との関係

水質指標と BOD_5 との相関係数 0.62 という値は、従来のように COD だけで BOD_5 をあらわした場合よりも高い数値ではあるとしても、満足すべきかどうかには議論の余地があるからかもしれない。透視度、 COD 、蛋

白質、炭水化物を試みとして用いたから、かような結果をえたのである。
ボラタイルマター、重クロム酸COD、トータル有機性炭素などの変量を
加えれば、BOD₅にかわるべきもっと精度の高い指標になる可能性がある。

4 だ円体主軸の意義の同定

だ円体の主軸を回転してえた M_1, M_2, M_3 軸はいかなる実質的な意義をもつか、換言すると、 M_1, M_2, M_3 軸によって分類された各グループ内の水質項目はどのような外部因に対応して変動するかが検討されなければならない。この命題への答えとして、因子分析法における因子の同定の手法を適用⁴⁾してみた。すなわち、因子と思われる条件もデータと同一空間に分布する点であらわされるとして、水質項目と同一のだ円体の主軸に組み入れてしまうのである。第4章の線形モデルを作成のためのデータの収集時に外部条件（水温や曝気時間など）も詳しく測定しているので、それをもとにして（第4章アペンデックスの表）第6章の手法で、だ円体の回転主軸とそれに対する各項目の相関係数を求めた結果が表（6-3）である。同表の左端1～6が処理条件であり、7～16がその結果生じた水質である。処理条件として、第4章の線形モデルの右辺の独立変数に用いた項目である曝気時間、水温、原水BOD、BOD負荷、MLSS、MLVSSを選んだ。それに対応して、だ円体の主軸も6本まで計算した。上記6変数がだ円体の主軸に関連があると想定したからである。

なお、人為的にコントロールできないという理由のために、比脱水素酵素活性度（単位固形物当りの脱水素酵素活性度）を独立変数とは考え難いので、この表（6-3）では処理条件ではなく、処理結果の方に記入してある。

| 水質および条件 | M ₁ | M ₂ | M ₃ | M ₄ | M ₅ | M ₆ |
|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 1 曝気時間 | 0407 | 0246 | -0681 | 0189 | -0119 | -0509 |
| 2 水温 | -0061 | 0066 | -0174 | -0089 | 0114 | 0812 |
| 3 原水BOD | -0104 | -0453 | -0196 | 0264 | 0135 | -0115 |
| 4 BOD負荷 | -0414 | -0720 | 0153 | -0150 | -0334 | 0220 |
| 5 MLSS | 0023 | 0290 | 0069 | 0062 | 0909 | 0166 |
| 6 MLVSS | 0078 | 0161 | 0137 | 0111 | 0939 | 0039 |
| 7 BOD除去率 | 0829 | -0147 | -0296 | 0158 | 0112 | -0188 |
| 8 透視度 | 0482 | 0095 | -0688 | 0012 | -0197 | -0030 |
| 9 BOD | -0904 | -0210 | 0185 | -0044 | -0014 | 0063 |
| 10 COD | -0222 | -0160 | 0855 | 0170 | 0086 | -0278 |
| 11 タンパク質 | -0078 | -0319 | 0871 | 0062 | -0100 | 0118 |
| 12 炭水化物 | -0051 | 0074 | 0197 | 0855 | 0111 | -0048 |
| 13 SVI | -0101 | -0767 | 0275 | -0073 | -0079 | 0035 |
| 14 タンパク質/SS | 0110 | -0644 | 0185 | -0024 | -0243 | -0137 |
| 15 炭水化物/SS | 0227 | -0039 | 0011 | 0613 | 0202 | -0311 |
| 16 脱水素酵素活性/SS | -0326 | -0731 | 0275 | -0189 | -0242 | -0017 |

(不明) (BOD負荷・(曝気時間)(不明)(MLSS)(水温)
原水BOD)

表6-3 因子分析による主軸の意味の決定

表(6-3)に示した相関係数の大きさにもとずき、1から16項目までを分類するとつぎのようになる。

M_1 : BOD、BOD除去率

M_2 : 原水BOD、BOD負荷、SVI、タンパク質/SS、比脱酸素酵素活性度

M_3 : 曝気時間、透視度、COD、タンパク質

M_4 : 炭水化物、炭水化物/SS

M_5 : MLSS、MLVSS

M_6 : 水温

4～6項までの処理条件に相関の高い主軸がその主軸の意味を示すというのが因子分析法の因子の同定法であるから、これに従うとつぎのようになる。

M_1 : 不明因子

M_2 : BOD負荷 or 原水BOD因子

M_3 : 曝気時間因子

M_4 : 不明因子

M_5 : MLSS or MLVSS 因子

M_6 : 水温因子

M_2 の列を縦に眺めると、原水BODとBOD負荷が高くなると、SVI、単位SS当りのタンパク質、比脱酸素酵素活性度が高くなることがわかる。

BOD負荷は(流入BODkg/MLSSkg/日)で定義した値である。

ここで注目したいのは B O D 負荷因子に比脱水素酵素活性度が分類されている点である。このことは、第 4 章で用いた実験条件という限られた場の中では、水温や曝気時間よりも B O D 負荷が比活性度により深い関連をもつことを示すものである。ここでいう活性度とは細胞内呼吸による脱水素酵素活性度である。須藤⁶⁾は B O D 負荷が $0.65 \text{ kg BOD/kg MLSS/日}$ から $0.1 \text{ kg BOD/kg MLSS/日}$ に低下すると、比脱水素酵素活性が約 $1/3$ に低下したと報じている。

M_3 の曝気時間因子には透視度、C O D、タンパク質がグループ分けされている。MLSS 因子軸および水温因子軸の M_5 、 M_6 には処理水質のうちのいずれの項目も属さず、また B O D は M_1 すなわち、因子が同定されなかった軸上に分類されている。この点については次節(5)で検討する。

M_1 M_2 …… M_6 までの軸番号は特別の意味はない。軸番号を適当に交換してもよい。また表(6-2)の M_1 軸の因子が表(6-3)の M_1 のそれに必ずしも対応するものではない。表(6-2)の M_1 に透視度と C O D が属しているが、表(6-3)では M_3 に透視度と C O D が属している。表(6-2)の M_1 を改めて M_3 と呼びかえてもさしつかえない。

表(6-2)はステップエアレーション方式をとる実物下水処理場から得たデータをまとめた結果であり、表(6-3)はパイロットプラントのデータから得た結果である。別々のデータでありながら、同一の分類結果を得ている。C O D、透視度、チッ素などが属する表(6-2)の M_1 主軸は曝気時間因子を意味すると考えられる。

5 考察と総括

下水の浄化水の水質を表わす変量はそれぞれ固有の意義をもっている。

BODが放流先の水系の溶存酸素の消費の程度、透視度は見た目の清澄さ、ABSが発泡の程度というのがその例である。下水処理場の放流水が与える影響の範囲が広いので、処理施設の日常の運転管理や浄化水質のモニターがすべての変量に基づいて行なわれればこれに越すものはない。しかしながら限られた時間内に限られたスタッフによって運転を行なっている現実の下水処理施設では、物理的な理由から、変量の測定項目を少なくせざるをえない場合も少なくない。どのような変量の計測をルチーンワークに組み入れるかの判断は測定方法の簡便なことのほかになるべく多くの特性を表現するということに基づくべきである。相互に線形関係にある変量を重ね測定しても、同じ特性量を異なった立場から表現したにすぎないからである。表(6-1)と表(6-2)がこの目的を達するための変量の選択に役立つ。たった1個の変量で10項目全体の傾向を表わしたい場合には、だ円体の第1主軸ともっとも高い相関を有する透視度が、その測定の簡便さも含めて、第1候補であることが表(6-1)から導かれる。第1主軸はすべての変量を代表する方向に向っているからである。もし3種類の変量の測定をする余裕があるときには、表(6-2)の M_1 M_2 M_3 それぞれのグループから1個ずつ選び出せばよい。全体の変動を表わすためには1個より3個の変量の方がよいことはいうまでもない。以上は選択に何の基準もない場合、改めて基準を設定するためのひとつの方法を示したものである。

下水処理水のBODは曝気時間によってももちろん変化するが、その変化のし方は透視度やCODなど他の変量のそれとは相違することが前章で検証された。このことは“BODは透視度やCODほどエアレーション時間³⁾の影響を受けていない。”という勝又³⁾らの結果と一致している。BOD₅の

測定結果が判明するのに5日を要するので、これをCODで代用する従来の試みはエアレーション時間が短いときには合理的であることが前章の表(5-4)からわかる。エアレーション時間が短い処理をしたときにえた浄化水のCODとBODには線形関係があるからである。さらに2時間半の滞留時間を持ち、パイロットプラントと同一の下水の流入を受けた実物エアレーションタンクによる浄化水の場合、表(6-2)から、ポラタイルマターがBODの代用としては最上の指標であるといえることができる。したがって下水水量の変動が激しく、曝気時間が大幅に変わるような場合、数種類の水質項目を組合わせてたもので代用するのが好ましい。

本章の4で示した解析によりBODは不明軸に、透視度やCODは曝気時間軸に分類された。第4章の結果によれば、影響の度合は低いながらも曝気時間は処理水BODに関連のあることは明らかである。この矛盾はだ円体の主軸を直交回転したところに起因する。すなわち、第6章の式(6-5)に従ってすべての軸を θ だけ直交回転しているが、これは p 本の主軸がお互いに独立、すなわち、無相関ということを前提としている。表(6-2)において、 M_3 軸はポラタイルマターにもBODにも高い相関をもつので、この両者は同一のグループに属すると結論したが、 M_3 軸はCODやアンモニア性チッ素に対してもやや高い相関係数をもっているので、CODがこのグループに属しないと考えるといかどうかが判断に苦しむところである。同様のことが表(6-3)の曝気時間についてもいえる。曝気時間は M_3 軸にもっとも高い相関をもっているので M_3 軸を曝気因子と称したが、BODが属する M_1 軸にもやや高い相関を示しているので、 M_1 も第2曝気時間因子ともいえなくはない。だ円体の主軸を回転しても、相関係数が極大と極小に2分されず、中間の値のものが残ったからこのよう

な問題が生じたのである。活性汚泥法で浄化されてえた水の水質項目がたった一つの外部条件に対応するということにはあり得ないにもかかわらず、ありえるとして、直交軸で多くの水質項目を分類したことがこの原因である。しかしながら水質項目のそれぞれによって、処理条件に対する鋭敏さ、あるいは影響の受け易さが相違することは第4章の線形モデルや第5章のだ円体の主軸などで明らかにされている。したがって本章の結果はそれらの水質項目がもっとも鋭敏に反応する外部条件によって分類されたと解釈するべきである。

前述のように直交軸で分類しようとしたことがこの問題の原因があるから、だ円体の主軸を斜交変換すればよりよい分類がなされると思われる。この意味において、本章の結論を導くに至った解析法はまだ改良の余地を残している。

6 参考文献

- 1) 北川敏男、"多変量解析"、共立出版、1969
- 2) Harman.H. "Modern Factor Analysis"、Chicago
Prees、1960
- 3) 勝又保正、"森ヶ崎下水処理場運転開始時における低濃度下水の活性汚泥法処理実験"、下水道協会誌 Vol 7、NO 73、6月、1970
- 4) 庄司、山本、中村、西田、"淀川水質の汚染の因子分析"、土木学会論文集、Vol 91、3月、1968
- 5) 須藤、吉野、三橋、"エアレーションタンクの管理指標"、下水道協会誌、Vol 5、NO 45、2月、1968

7 アペンデックス

| データ | 透視度 | 蒸発残留物 | ボラタイル物 | 溶存物 | 浮遊物 | BOD | COD | 全チッ素 | NH ₃ チッ素 | 有機チッ素 |
|-----|-----|-------|--------|-----|-----|-----|-----|------|---------------------|-------|
| 1 | 15 | 555 | 122 | 519 | 36 | 12 | 18 | 14 | 6.7 | 7.1 |
| 2 | 14 | 637 | 123 | 627 | 10 | 7 | 19 | 84 | 5.2 | 3.2 |
| 3 | 50 | 372 | 66 | 365 | 7 | 6 | 13 | 7 | 2.4 | 4.6 |
| 4 | 27 | 582 | 94 | 573 | 9 | 16 | 12 | 74 | 3.4 | 4.0 |
| 5 | 46 | 626 | 80 | 619 | 7 | 6 | 9 | 10 | 7.2 | 3.3 |
| 6 | 32 | 661 | 130 | 654 | 7 | 10 | 16 | 136 | 7.8 | 5.8 |
| 7 | 11 | 659 | 143 | 627 | 2 | 14 | 26 | 175 | 6.2 | 11.3 |
| 8 | 15 | 622 | 91 | 610 | 12 | 7 | 20 | 17 | 8.5 | 8.3 |
| 9 | 9 | 594 | 98 | 559 | 35 | 12 | 32 | 18 | 9.1 | 9.4 |
| 10 | 12 | 694 | 599 | 655 | 39 | 17 | 35 | 14 | 5.6 | 8.4 |

表 6 A 1 原 デ ー タ

第 7 章 結 論

本論文内に表示した解析によって導かれた個々の成果はすでに各章で詳細に述べたので、ここでは全体を要約し、現在の下水道事業の中でどのような意義をもち、今後どのように発展するかを検討することにする。

(1) 第2章の結論

東京都内の稼動中の下水処理場の流出入水量水質を単純な確率分布関数で記述することはできない。他の下水処理場のそれらについて検証はしていないけれども、これらのことは大処理場の一般的な現象であると考えるのが自然である。

個々の測定項目（BOD、透視度、流量など）によってかなり相異なるけれども、一般的に言えば測定値の平方根変換、4乗根変換、対数変換のうち最後の対数変換が正規分布に一番近づくことがわかった。この事実は各項目の測定値の分散が一定ではなく、測定値の大きさに比例することを意味するものである。無理に正規分布に変換することよりも、このような分布形がなぜ出現したかを究明する方がより重要である。

測定値の分布形の検討は現象自体の解明や代表値の選択の基礎になる。たとえば歪度が0から大きく偏った分布をする集団の代表値として算術平均値の妥当性が疑われてくる。分布の歪は汚れともいうべき過大あるいは過少値の影響を受けてこのような歪が生じる場合が多いからである。本論文で述べたように、全量を問題にする場合以外算術平均よりもメディアンの方がよい代表値である。365個のサンプルにもとずいて計算した結果によれば、算術平均とメディアンとの差は処理水CODで約3 ppm、透視度で約6 cm、いずれも平均値の方が大きい。365個という大サンプルでもこの程度の差があった。サンプル数が小さくなるとこの差はもっと大きくなる。

下水道法や1971年制定の環境基準でさえ平均値をコントロールするべき基準にしている。広く普及しているのも、理解され易いという理由から、平均値が採用されたのであろうと思われるが、上に述べた理由により基準として平均値がもっとも合理的であるとはいえない。たとえば同一汚濁負荷（すなわち同一の平均値）のとき、変動がなく均一の場合と変動がある場合、下水処理という目的に対しては前者が好しく、水利用という目的では後者が好しい。原水量や質の変動に生物処理は追従し難いからであり、また後者では、一時的に水が悪化しても流れ去ったあとは再び清浄になるからである。このように代表値の選択は重要な意義をもっているにもかかわらず安易に決められている場合が多かった。行政の基本になるものであるから、分布形とその目的に応じて代表値は決定されなければならない。今後もっともっと努力が払わなければならない部分である。

(2) 第3章の結論

第3章のスペクトル解析によれば、流入水量の全変動のうち、30%が1日を1周期とするものであり、20%が12時間を1周期とする。

「昼間と夜間とでは流入下水量に大差がある。昼間を通じ過負荷のため浄化の程度が悪化しても夜間に回復する。また1日当りの負荷が同一でも均一化すれば処理水の平均水質は向上する」という声が現場担当者から聞かされてきた。上の結果から考えてこの声に応じる一つの方法は流入水の貯留による平滑である。たとえば適当な方法で24時間分の流入水量を貯留すれば全変動の50%、 $60.000\text{ m}^3/\text{日}$ のピークがカットできたことに相当する。このことにより原水CODのピークの38%がカットされる。

相互分散スペクトル解析によれば、二つの時系列の相互関係が、それを構成する個々の波動成分ごとに、位相のずれや伝達の比率などのパラメー

ターによって定量化される。

このような解析により、実際の下水処理場においては12時間周期以下の短い周期の原水CODの変動は完全に吸収されて処理水のCODには伝わらなかった。また1周期を1日とする変動は6時間のタイムシフトをもって処理水CODに伝わった。第1沈殿池の入口から第2沈殿池の出口にいたる平均滞留時間がこのタイムシフトに相当すると思われる。(同様の解析を各施設の入口と出口とについて行い、タイムシフトと周波数ごとの振幅の伝達率を求めるとその施設の混合特性や周波数伝達関数の数値解が統計的に得られる)。処理水透視度と原水温度とのコヒーレンシは1年周期の変動においてはきわめて高く、タイムシフトは20日であった。このことは両者間に線形の関係があり、温度の影響が透視度に20日のちに伝わることを示している。また24時間を1周期とする温度変化は透視度に伝達されていない。これは短い周期の温度変化があっても処理水の透視度は変化しないという経験的事実に一致している。

つぎに、この結果はサンプリングの計画に影響を与える。短周期の波動成分を多く含んでいるが長周期の変動が小さい変量、たとえば原水CODやSSでは1日1回の測定を毎日くり返すよりも、1時間間隔で24時間測定を1年間に数回反復する方がよい。また逆に長周期の変動を多く含んでいる原水温度や処理水透視度を短時間間隔で測定しても無駄が多い。全周期に変動が分散しているもの、処理水CODなど、は短時間間隔の測定を数多く反復する必要がある。

デラウェア川水質基準(Delaware Basin Commission Regulation)はつぎのように要求している。“デラウェア一河口部への放流水中の炭素による酸素消費量の連続した5日間の平均重量が定められた数値の50%を

越えてはならない⁽¹⁾。この基準は明らかに水質は変動することを前提に
作られているので単なる平均値だけにもとづくものよりも優れている。日
本全土にわたって設置されようとしている河川水のモニタリングステーシ
ョンのサンプリングプログラムはこのような周波数解析にもとづいて決定
されるべきであろう。

変動の伝達特性は下水処理施設の設計に有用な示唆を与える。第二沈殿池
からの流出水の水質は、フロックのキャリオーバーのため、処理水の増加
(つまり滞留時間の短縮)により極端に悪化する。第二沈殿池は水理負荷
の変動に対するフレキシビリティがないので、最大の水理負荷の場合にも
十分な堰負荷や水面積を確保できるような設計が必要である。これに反し、
第一沈殿池の滞留時間が小さくなるとゲインはわずかに増加するけれども、
SSとCODの伝達特性は全周期の波動に対して線形である。このことは
流入してきた原水中のSSやBODを幾分かは除去するけれども、変動の
波形はそのまま流出水に伝わることを意味する。滞留時間が実用的な範囲
で変化してもこの傾向は変らない。もし原水量や水質にショックロード的
な短周期の変動成分が多い場合には、第一沈殿池を短縮し、その機能を沈
砂池で取り残したグリットやコーヒの豆などエアレーションタンクで分
解できない大型固形物の除去に限定し、エアレーションタンクの容量を大
きくした方が得策である。このような意図にもとづき、第一沈殿池を全く
はぶきその相当分の敷地までエアレーションタンクを建設した下水処理場
がある。数年の運転実験はこのような考え方が妥当であったことを示して
いる。しかしながら合流式下水道の特性として雨天時に流入する無機性の
固形物によるエアレーションタンク内のディフューザーの目つまりがやや
大きいと報告されている。大気泡エアレーション装置を用いるなどの工夫

は必要である。

ピークカットの目的のためにのみ大きい調整槽（イコーリーゼーションタンク）を設置することは経済性にあわないと考えられてきた。しかしながら合流式下水道のオーバーフローが新しい汚染源であることが認められて以来、分水堰のカサ上げが行われようとしている。これが実行されると下水処理場に流入する雨天時ピーク水量は現在の数倍になると予想される。これに対処するため雨水貯留池の検討が具体化しつつある。これと組合せると先に不可能と考えられていた晴天時のピークカット池の構想の実現も可能である。雨水流出の周波数変動特性の解析がこのような雨水貯留池の設計の基本になる。

(3) 第4章の結論

実物プラントの運転データにもとづいて帰納的に活性汚泥法の中心になるエアレーションタンクのパフォーマンスをあらわすモデルを導いた。ひとたびこのようなモデルが確立するとプラントの設計や管理という実務のみならずプロセスの解明という基本研究に役立つところが大きい。

このモデルを検討することにより、(1)エアレーションタンク内のMLSS濃度、(2)原水温度、(3)原水BOD、(4)エアレーション時間などエアレーションタンクの設計パラメーターと考えられていた諸因子のうち、最後のエアレーション時間が群を抜いて処理水BODに大きい影響をもっていることがわかった。エアレーション時間の短さをMLSSの増加で補うという方法（すなわちBOD除去率はBOD負荷にのみに関係するという考え方）の妥当性は実証されなかった。さらにまたMLVSSもBOD除去率に大きい影響を与えない。500mg/ℓから3000mg/ℓの範囲内ではMLVSS

は MLSS と固相 BOD 除去率に無関係というのが第 4 章の結果の一部である。このように原水 BOD₅ が 120mg/ℓ 以下といううすい下水の場合 MLSS 濃度を上昇するため返送比を変えても結局、BOD 除去能力の低い汚泥ばかりが増加したのかもしれない。

エアレーション時間は BOD 除去率の他つぎのような意義をもつことが明らかになった。第一にエアレーション時間が長くなると、流入水質の変動が同一でも処理水質の分散が小さくなる。つまり吸収される分散スペクトルの巾が広くなるわけで流入側の変動が流出側に伝わり難くなる。処理プラントのパフォーマンスが安定するのである。第二にエアレーション時間が長くなるほど原因不明の未知変動がへってゆく。エアレーション時間が短いと、原因不明の要因があるので、処理水の BOD や透視度の変動を小さくすることはできない。

エアレーション時間のこのような意義は従来あまり定量的に認識されてはいなかったものである。エアレーション時間は施設の建設費に直接関係するので、これを短くするため、数々の方法が試みられてきた。ステップエアレーション、欧州式ハイレート法、アメリカ式モデファイドエアレーション法などがそれである。これらを含めて新しく開発されてきた諸施設の機能は BOD 除去率だけで判定されていたところに問題がある。今回の著者の実物大パイロットプラントの結果でも、60 分エアレーションと 180 分エアレーションとそれぞれの場合の処理水 BOD₅ の平均値には大きい差がなかった。しかしエアレーション時間は上述したように BOD 除去率以外にも重大な意義をもっていることを忘れてはならない。

繰返し述べたように線形モデルを作製する上で基礎になったデータは東京都の下水処理場内の実物規模のパイロットプラントによった。この運転

管理はしたがって東京都下水道局のルチンワークのスケジュールに従った。流入水量が均一になるようにコントロールされているところが唯一の相違である。作られたモデルは従来のどのモデルよりも現実の姿を反映するといえるけれども、まだ時系列的変動を取り入れていないところに不満を残している。望ましいモデルとは独立変数の数を多く含み、しかもそれら個々の時間変動にも追従するものであることに多言を要さない。第3章の2変数間のダイナミックモデルを、第4章の多変数間のスタチックモデルとを組合せ、多変数間の応答関数にまで発展することを今後の課題にしている。

(4) 第5章の結論

第5章では第4章で明らかにされたエアレーション時間の意義を①ユークリッド空間内の予測ベクトルと実測ベクトルとの余弦、および②同空間内の確率だ円体という新しい概念をもとにして表わす試みをした。①はプラントの制御のしやすさを(コントロールビリティと仮に呼んでおく)、②は立体的な制御の方法をそれぞれあらわす指標に利用できるものである。

下水処理場の設計理念は汚濁物の除去率のみならず、管理しやすさにも基礎を置かれなければならない。1日当り100万トン以上の下水を処理する下水処理施設にきめ細かい管理は期待できるわけがないからである。コントロールビリティの向上はエアレーション時間を長くすることによってのみ楽々と達成しえるのである。

(5) 第6章の結論

第6章では第5章で導入した多次元空間に分布する水質ベクトルを包含する確率だ円体という概念の応用としてだ円体の主軸の方向によって変量の分類を試みた。現実の下水処理場で集めたデーターにもとづく解析によれ

ば、10次元の超空間に分布するはずの水質ベクトルの83%は事実上3次元の部分空間に属しているにすぎないことがわかった。透視度、蒸発残留物、ボラタイルマター、溶存物、浮遊物、 BOD_5 、COD、総チッ素、有機性チッ素の10項目の水質試験を行なっても、結局のところ3種類の違った属性を計測しているにすぎない。すなわち上述10項目を相互に関係あるもの毎にグループ分けすると3つのグループになる。同一グループに属する項目間には強い線形関係があり、グループ相互間は直交関係にある。多くの項目の水質分析を行なうのは下水処理場の運転管理上好ましいことに違いないけれども、何かの理由で測定項目の数を限定せざるをえない場合、線形関係にある同一のグループ内から何項目かを選ぶよりも、それぞれのグループから選び出す方が広い範囲の水質の変動特性を知ることができる。

今までBODとCODとの間に相関（ピアソンの偏差積率相関係数）があるかないとかが議論の対象になっていた。5章と第6章の結果はこの議論に一応の解答を与えたとみることができる。BODとCODはだ円体の主軸との関連が異なる。すなわち因子分析法の用語を用いれば、因子負荷量を異にするというのが第6章の結果である。第5章でも明らかになったように、下水の各種処理条件の影響の受け方がBODとCOD（両者のみならずすべての水質項目も同じ）とでは相違するわけである。したがって、水質水量の激しく変動する下水処理場においてBODをCODで代替するのはあまり特策とはいえない。

- 1) R. V. Thoman, "Time Series Analysis of Water
Quality data," ASCE., SAI., Feb., 1971.

あ　と　が　き

活性汚泥法のパフォーマンスが実験室内において核酸や酵素のレベルまでに立ちいって検討されるようになったので、ここでのべたような統計的な検討を低く評価しすぎているようなきらいがある。

統計は数の「もち遊び」にすぎず、何ら新事実の発見や発明ではないというのがこの低評価の主たる理由である。しかしながら逆に、分析化学的にミクロに進めば進むほど真実に近づくという考え方が実用的であるとは考えるわけにはゆかない。流入水量水質の固有の変動に加えて、ラフなサンプリングや運転操作による大きい変動の影響がプラントの運転の結果生じた水質に含まれているからである。したがってまだ常識的な意味において科学になりきっていない活性汚泥法を自然科学と考え、自然科学や物理現象を解明するのと同様の分析科学的な手法を用いると、活性汚泥法の適正化という今後の大きい発展にある限界を強いるように思われる。エッケンフェルダーが口火を切って以来、過去10数年間にわたり全世界が多くの勢力を注ぎ込んだ数学的な方法が決して万能でないことの反省は上のような事実にもとずいている。活性汚泥法の解析は常に誤差との戦いであり、そこに現われる事実は常に誤差との対比においてのみ存在するのである。画期的な活性汚泥法の解明や改良はミクロの研究から生じる可能性の大きいことに異論はないけれども、疫学的ないしは統計学的発想を忘れすぎると実用に乏しい思考におちいる心配のあることを強調しておきたい。

今後の下水道事業に関する政策の決定は計画学的と結びついたマクロ的なアプローチによらなければならないと考えている。しかしながら、現在のところ計画学の理論が先走りすぎ、基礎データが不足している。むしろ、データは十分あるけれども、計画学が必要とするようには整理されていない

という方が正しいかもしれない。単純な統計量だけでは、いかに計画学の手
法が卓越していても、きめ細かい計画の策定は不可能である。したがって、
誤差が多い現在の下水処理施設に関係する多くの現象の諸特性を数量化し、
計画学が適用できるようなシミュレーションモデルを作って、下水道施設の計
画ひいては設計と管理の精度を向上することが本論文から出発するつぎの目
標である。

謝

辞

本論文を一貫する基本的な理念は、今から15年前著者が京都大学工学部土木工学科の学生るとき、岩井教授から手ほどきを受けた水文統計学に端を発している。はじめて「現象の確率化」という概念を教わったときニュートンの物理学的思考法の彼方に新しい世界を見出した思いであつた。この時の新鮮な驚きを今でも覚えている。

本論文は東京都下水道局において業務の一部として得た成果を別の立場からまとめたものであるが、実務の成果とそれを学術的な論文にまとめることとの間にはきわめて大きい溝があつた。この溝を埋めることを可能にしたのは京都大学工学部教授 合田健博士の勇気づけに負うところが大きい。合田教授の変らぬ励ましがなかつたらこの論文は完成していなかつたであろう。

全体の構成や細い内容の指導はいうまでもなく、数回にわたる校閲の労まで京都大学工学部衛生工学科教授 末石富太郎博士にお願いした。同教授の個人的なスケジュールの多くの部分をこの目的のためにさいてもらふことになつてしまった。

本論文で用いた多変量解析やスペクトル解析の応用は、著者が大学院修士コースの学生であつた昭和34年に、京都大学工学部衛生工学科教授 山本剛夫博士から個人的に手ほどきを受けたものである。

本論文で用いたデータのいくらかは東京都の各下水処理場が作成した日報や月報から引用した。

電算機利用のためのプログラミングは東京都下水道局経営管理室 宇都宮副主幹、および東京都主税局 福重副主幹に手助けをしてもらつた。

解析の諸結果に対して実務的立場から批判やアドバイスを東京都下水道局

計画部 藤井主幹に乞うことができた。

パイロットプラントの建設は昭和42年、運転は昭和43～44年、実験果の解析は昭和45～46年にそれぞれ主として行なった。ここに明記したかったけれども、労をわずらわした人の数が多い。心から感謝している。